

# Chemia dla biotechnologii

2100-CHABIOT-1-S1

Moduł 6 – Chemia - Chemia ogólna i analityczna

Dr hab. Jacek Kęsy

[www.umk.pl/~kesy](http://www.umk.pl/~kesy)

## Literatura:

L. Jones, P. Atkins – Chemia ogólna. Cząsteczki, materia, reakcje.

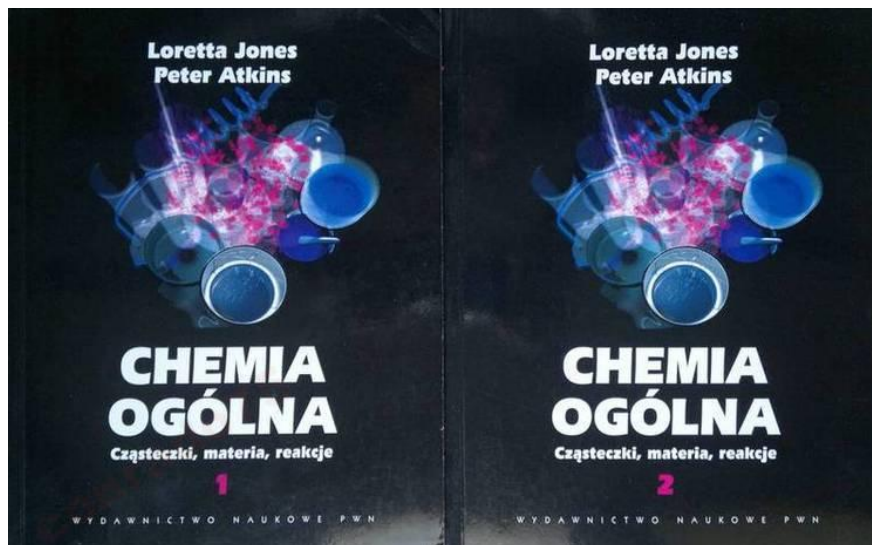
Lesław Huppenthal, Alicja Kościelecka, Zbigniew Wojtczak – Chemia ogólna i analityczna dla studentów biologii.

Lech Pajdowski – Chemia ogólna.

Adam Bielański – Podstawy chemii ogólnej i nieorganicznej.

Irena Zubeł – [http://www.w12.pwr.wroc.pl/zpp/files/W\\_1.W10.pdf](http://www.w12.pwr.wroc.pl/zpp/files/W_1.W10.pdf)

Pazdro K.M. Rola-Noworyta A. – Akademicki zbiór zadań z chemii ogólnej.



## **Nauczanie chemii w gimnazjum**

- Pierwiastki i związki chemiczne
- Reakcje chemiczne i przemiany fizyczne
- Atomy, cząsteczki, jony i kryształy
- Elektrony, protony i neutrony
- Wiązania kowalencyjne, jonowe i metaliczne
- Układ okresowy pierwiastków
- Metale i niemetale, elektroujemność
- Kwasy, zasady i sole
- Reakcje utleniania i redukcji

## **Nauczanie chemii w liceum**

- Budowa atomów i cząsteczek – elementy mechaniki kwantowej
- Powiązanie właściwości chemicznych pierwiastków i związków z budową atomów i cząsteczek
- Reakcje egzotermiczne i endotermiczne
- Równowaga chemiczna, reguła przekory
- Dysocjacja kwasów i zasad, pH
- Hydroliza soli
- Ogniwa elektrochemiczne i elektroliza
- Szybkość reakcji

- Budowa materii. Podstawowe pojęcia i definicje chemii. Układ okresowy.
- Klasyfikacja i nomenklatura związków nieorganicznych.
- Typy wiązań chemicznych. Związki kompleksowe.
- Typy reakcji chemicznych.
- Kinetyka reakcji chemicznych.
- Elementy termodynamiki.
- Roztwory. Rodzaje stężeń. Dysocjacja. Hydroliza. Rozpuszczalność i iloczyn rozpuszczalności.
- Moc kwasów i zasad. Odczyn środowiska-pH. Roztwory buforowe.
- Elementy elektrochemii. Szereg napięciowy metali. Elektroliza. Korozja i pasywacja.
- Zarys klasycznej chemii analitycznej.

1. Budowa materii - definicje pojęć podstawowych. Układ okresowy pierwiastków.
2. Klasyfikacja i nomenklatura związków nieorganicznych. Wzory chemiczne.
3. Typy wiązań chemicznych. Związki kompleksowe; rodzaje i struktura kompleksów.
5. Podział reakcji chemicznych (synteza, analiza, wymiana, redoks, reakcje dysproporcjonowania).
- 4-5. Kinetyka reakcji chemicznych (równania kinetyczne 1 i 2 rzędu: teoria zderzeń, teoria kompleksu aktywnego; energia aktywacji; równanie Arrheniusa, działanie katalizatorów, enzymy). Równowagi chemiczne trwałe i metatrwałe (Stała równowagi chemicznej, stała równowagi chemicznej w układach homo- i heterogenicznych; reguła przekory).
6. Elementy termodynamiki. Gazy (Prawo Boyle'a, prawo Gay-Lussaca, prawo Charlsa. Równanie stanu gazu doskonałego, gęstość) gazu, mieszanina gazów. Prawo Daltona ciśnień cząstkowych.
7. Roztwory. Rodzaje stężeń. Dysocjacja. Hydroliza. Rozpuszczalność i iloczyn rozpuszczalności.
8. Moc kwasów i zasad. Odczyn środowiska-pH. Roztwory buforowe.
9. Elementy elektrochemii. Szereg napięciowy metali. Elektroliza. Korozja i pasywacja.
10. Podstawy chemii organicznej.

# ĆWICZENIA Z CHEMII

Zajęcia odbywają się w sali V (budynek B)

	<b>Tematy</b>	<b>Prowadzący</b>
<b>1</b>	<b>Wzory chemiczne</b>	<b>Dr Tomasz Jędrzejewski</b>
<b>2</b>	<b>Reakcje chemiczne</b>	<b>Dr Przemysław Grodzicki</b>
<b>3</b>	<b>Stężenia roztworów – zadania</b>	<b>Dr Aleksandra Burkowska-But</b>
<b>4</b>	<b>Przygotowywanie roztworów</b>	<b>Dr Aleksandra Burkowska-But</b>
<b>5</b>	<b>Roztwory buforowe</b>	<b>Dr Tomasz Jędrzejewski</b>
<b>6</b>	<b>Podstawy analizy jakościowej</b>	<b>Dr Przemysław Grodzicki</b>
<b>7</b>	<b>Analizy ilościowa – miareczkowanie</b>	<b>Dr Przemysław Grodzicki</b>

## Harmonogram ćwiczeń z chemii ogólnej i analitycznej

### Biotechnologia (I rok studiów I stopnia)

Nr ćw.	Terminy	Prowadzący
1	10.10. (pon.) – Biotechnologia - gr. 5 i 1 11.10. (wtorek) – Biotechnologia – gr. 2 13.10. (czwar.) – Biotechnologia – gr. 4 i 3	Dr Tomasz Jędrzejewski
2	17.10. (pon.) – Biotechnologia - gr. 5 i 1 18.10. (wtorek) – Biotechnologia – gr. 2 20.10. (czwar.) – Biotechnologia – gr. 4 i 3	Dr Przemysław Grodzicki
3	24.10. (pon.) – Biotechnologia - gr. 5 i 1 25.10. (wtorek) – Biotechnologia – gr. 2 27.10. (czwar.) – Biotechnologia – gr. 4 i 3	Dr Aleksandra Burkowska-But
4	07.11. (pon.) – Biotechnologia - gr. 5 i 1 08.11. (wtorek) – Biotechnologia – gr. 2 03.11. (czwar.) – Biotechnologia – gr. 4 i 3	Dr Aleksandra Burkowska-But
5	14.11. (pon.) – Biotechnologia - gr. 5 i 1 15.11. (wtorek) – Biotechnologia – gr. 2 17.11. (czwar.) – Biotechnologia – gr. 4 i 3	Dr Tomasz Jędrzejewski
6	21.11. (pon.) – Biotechnologia - gr. 5 i 1 22.11. (wtorek) – Biotechnologia – gr. 2 24.11. (czwar.) – Biotechnologia – gr. 4 i 3	Dr Przemysław Grodzicki
7	28.11. (pon.) – Biotechnologia - gr. 5 i 1 29.11. (wtorek) – Biotechnologia – gr. 2 01.12. (czwar.) – Biotechnologia – gr. 4 i 3	Dr Przemysław Grodzicki

Warunki uzyskania zaliczenia ćwiczeń:

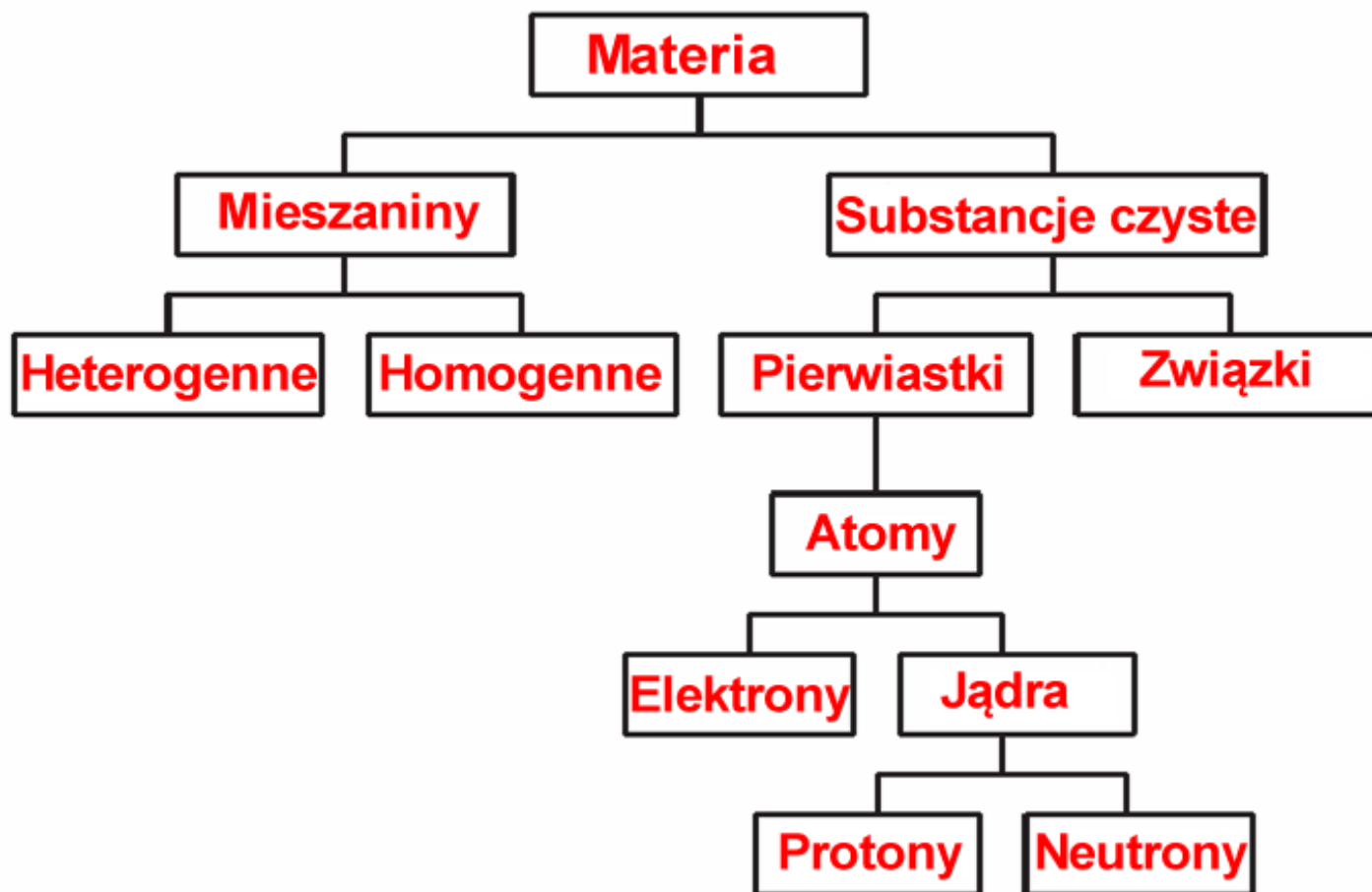
- uzyskanie pozytywnej oceny z 7 wyjściówek, z których każda obejmuje materiał przedstawiony na poprzednich zajęciach.

Wszystkie wyjściówki muszą zostać zaliczone w nieprzekraczalnym terminie 18.12.2016 r.

1. Przedstaw graficznie strukturę elektronową  ${}_{15}^{30}\text{P}$ . Podaj właściwości chemiczne i fizyczne pierwiastka.
2. Jakie jest stężenie molowe 36% roztworu kwasu chlorowodorowego (masa molowa kwasu wynosi 36.46 g/mol; gęstość 1.18 kg/m<sup>3</sup>).
3. Wyjaśnij - własnymi słowami lub na konkretnym przykładzie - zjawisko buforowania pH przez tzw. roztwory buforowe. Co to jest pojemność buforowa.
4. Z kolby miarowej na 250 cm<sup>3</sup>, zawierającej roztwór siarczanu żelaza(II), pobrano pipetą 25 cm<sup>3</sup> i po zakwaszeniu miareczkowano roztworem KMnO<sub>4</sub> o stężeniu 0,02112 mol·dm<sup>-3</sup>, zużywając 17,8 cm<sup>3</sup> tego roztworu. Oblicz masę Fe<sup>2+</sup> znajdującą się w kolbie miarowej (1.0489g; M<sub>Fe</sub>=58.8 g/mol).
5. Podaj przykłady kationów V grupy analitycznej i metody ich wykrywania.
6. Absorbancja – co to jest, czego jest miarą, od czego zależy?

**Chemia** - zajmuje się materia i jej przemianami

**Materia** – to coś, co ma masę, czego możemy dotknąć



# Podstawowe pojęcia chemii (język)

---

**Substancja chemiczna** – jednakowa materia, zbiór atomów i cząsteczek tego samego rodzaju

Zbiór atomów tego samego rodzaju – to pierwiastek chemiczny

Połączenia atomów – to cząsteczki chemiczne

Zbiór cząsteczek chemicznych tego samego rodzaju – to związek chemiczny

**Mieszanina** - zbiór cząsteczek różnego rodzaju

# Podstawowe pojęcia chemii (język)

---

Pierwiastek chemiczny - zbiór atomów tego samego rodzaju



Pierwiastki oznaczamy symbolami pochodzącymi od jego łacińskiej nazwy.

np. H – wodór (Hydrogenium), K - potas (Kalium)

Cl – chlor (Chlorum), Au – złoto (Aurum)

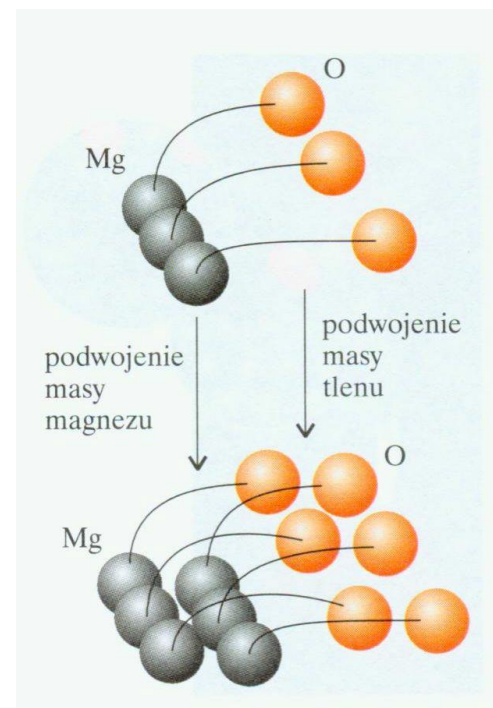
Pierwiastki różnią się wielkością atomów

# Podstawowe pojęcia chemii (język)

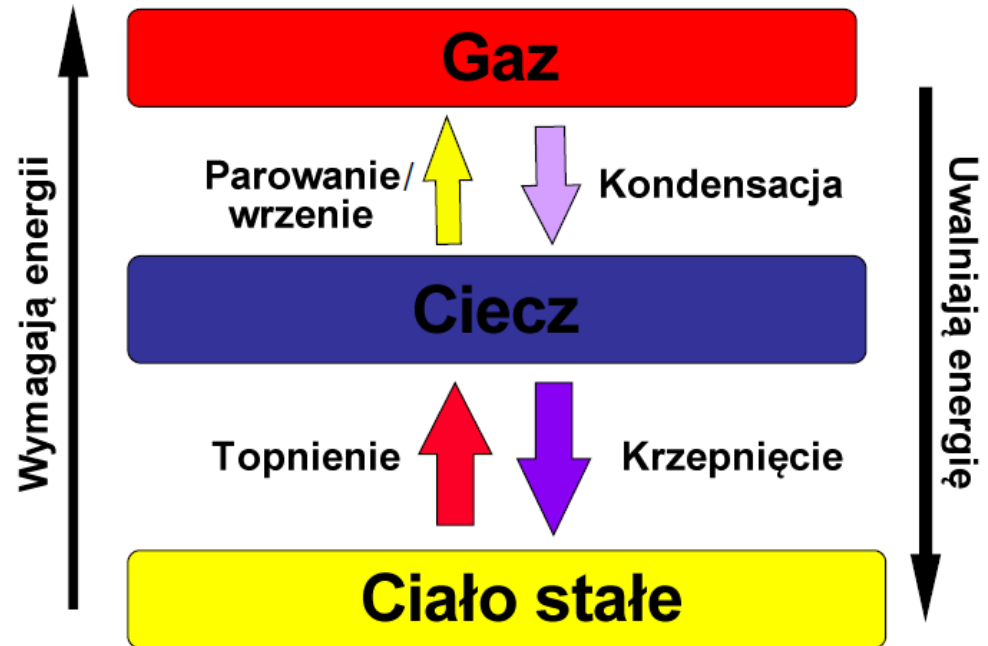
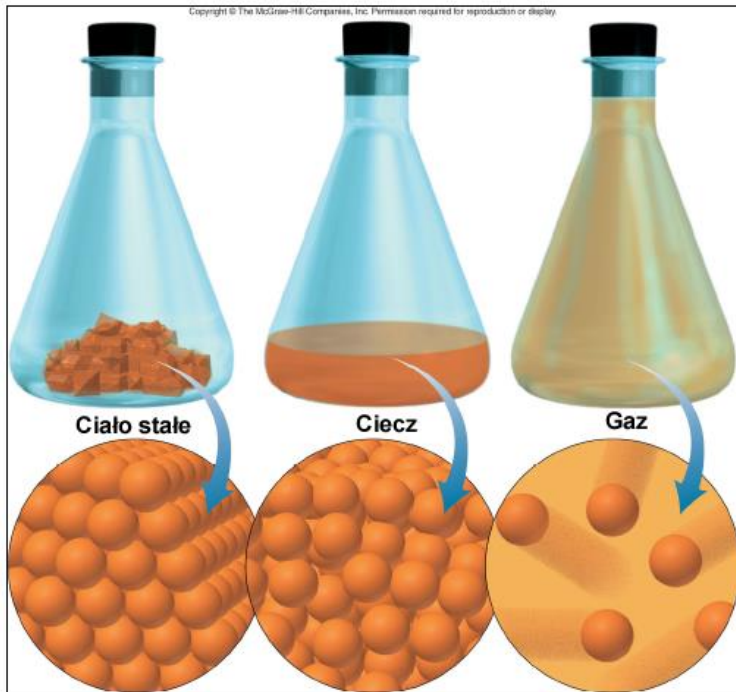
Atom - najmniejsza cząstka **materii**, zachowująca jej właściwości.

## Atomistyczna teoria Johna Daltona (1807):

- Wszystkie **substancje** składają się z niepodzielnych cząstek – **atomów** – zachowujących swoją **indywidualność** we wszystkich **przemianach chemicznych**.
- **Atomy** danego **pierwiastka** są identyczne pod każdym względem, **atomy** różnych **pierwiastków** różnią się swoimi **własnościami**.
- **Związki chemiczne** powstają na wskutek łączenia się **atomów** różnych **pierwiastków** w określonych i stałych stosunkach liczbowych.



# Właściwości materii



**Fizyczne:** stan skupienia, temperatura/ciepło parowania, skraplania, topnienia, itp, kolor, zapach?, smak?, rozpuszczalność, gęstość, przewodnictwo elektryczne, twardość, połysk.

**Chemiczne:** (określają zdolność substancji do przekształcania się w inną substancję), palność, podtrzymywanie spalania, odczyn, trwałość, aktywność chemiczna, toksyczność, smak?, zapach? .

# Właściwości materii

## Pomiary własności substancji



Papierki wskaźnikowe



Pehametr



Waga analityczna

## Jednostki, wartości stałych fizycznych i chemicznych

# Podstawowe pojęcia chemii (język)

---

## Jądrowy model **atomu** (współczesny):

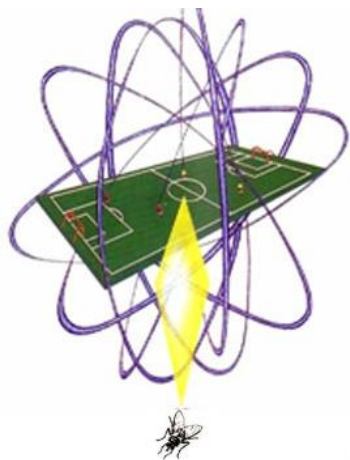
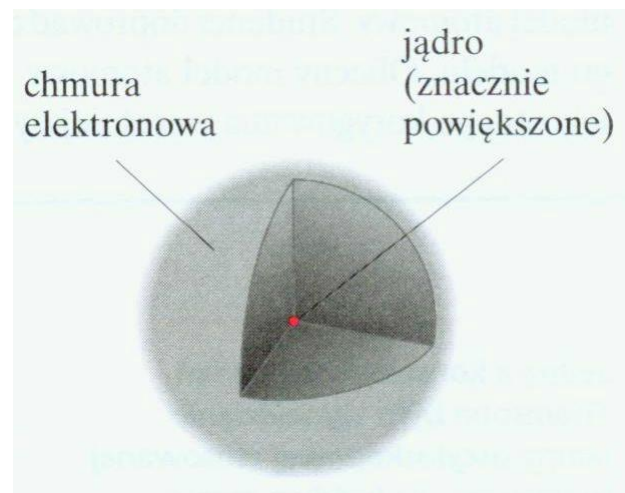
- atomy są zbudowane z cząstek subatomowych zwanych **elektronami**, **neutronami** i **protonami**,
- protony i neutrony tworzą zwarte centralne ciało zwane **jądrem atomu**, skupiającym prawie całą masę atomu,
- elektrony, które zubożniają (neutralizują) zgromadzone w jądrze ładunek dodatni, tworzą w przestrzeni **chmurę** otaczająca jądro,
- rozmiary atomów są kilka rzędów wielkości większe w porównaniu z rozmiarami jąder,
- najbardziej **zewnętrzne elektrony**, są odpowiedzialne za **własności**, optyczne, magnetyczne i chemiczne atomów.

# Podstawowe pojęcia chemii (język)

## Jądrowy model atomu

### Właściwości cząstek subatomowych

Cząstka	Symbol	Ładunek	Masa [kg]	Rozmiar [m]
Elektron	$e^-$	- 1	$9,109 \times 10^{-31}$	$2,817 \times 10^{-15}?$
Proton	p	+1	$1,673 \times 10^{-27}$	?
Neutron	n	0	$1,675 \times 10^{-27}$	?



### Przyjmuje się,

że promień atomu wodoru wynosi ok.  $10^{-10}$  m, a promień jądra ok.  $10^{-15}$  m, czyli:

- gdyby jądro wodoru miało rozmiary muchy, to przekrój przestrzeni zajętej przez elektron byłby wielkości boiska piłkarskiego.

# Podstawowe pojęcia chemii (język)

---

analogie c.d.

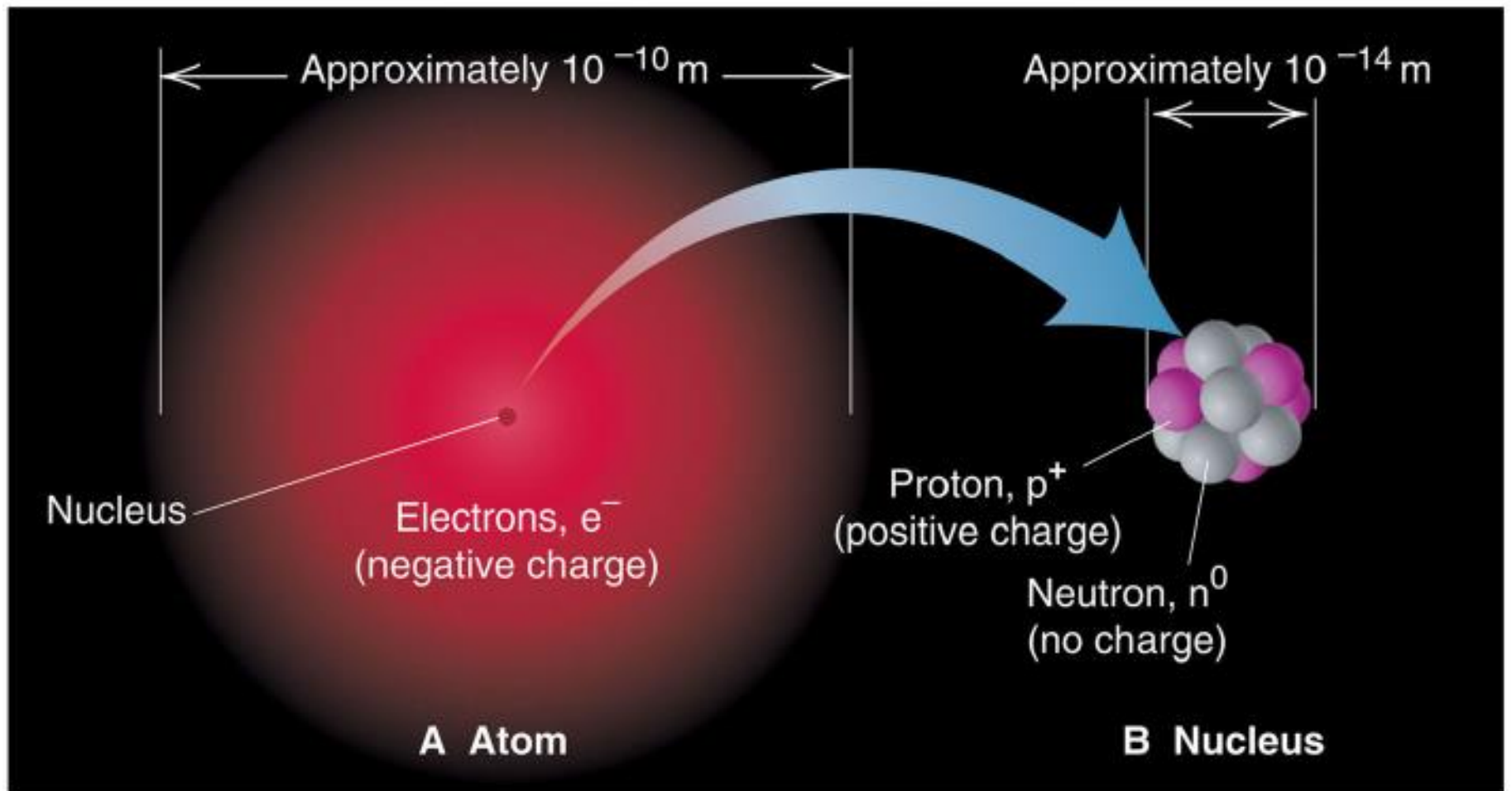
gdybyśmy mogli powiększyć  $10^9$  razy wymiary liniowe kawałka cienkiej złotej folii, obserwowalibyśmy ją jako olbrzymi stos atomów o średnicy ponad pół metra. Praktycznie cała masa atomu byłaby jednak skoncentrowana w jądrze o średnicy ok. 0,025 mm, czyli o wielkości bardzo małego ziarenka piasku!

albo inaczej:

gdybyśmy mieli  $1 \text{ cm}^3$  (naparstek) materii składającej się tylko z jąder wodoru, to miał on masę rzędu 6 milionów ton!

**Wniosek:**

**Materia, która nas otacza jest niezwykle „pusta”, przenikliwa!!!**



# Podstawowe pojęcia chemii (język)

---

## Budowa jądra atomowego

- **jądro atomowe** składa się z dodatnio naładowanych **protonów** i elektrycznie obojętnych **neutronów**. Składniki jądra atomowego (protony i neutrony) określa się wspólną nazwą **nukleony**,
- masy protonów i neutronów są zbliżone do siebie,
- liczba protonów w jądrze (równa liczbie elektronów) jest nazywana **liczbą atomową (Z)** i determinuje rodzaj pierwiastka,
- łączna liczba protonów i neutronów (nukleonów) stanowi o masie całego jądra – **jest to liczba masowa (A)**,
- atomy o identycznej liczbie protonów, ale różnej liczbie neutronów (różnej liczbie masowej) to **nuklidy** izotopów danego pierwiastka. Izotopy danego pierwiastka wykazują na ogół takie same własności fizyczne i chemiczne.

Zapis **symboli** poszczególnych izotopów wykonuje się wg schematu:



gdzie: X – symbol pierwiastka; A – liczba masowa; Z – liczba atomowa, np.  ${}^4_2\text{He}$  – hel,  ${}^1_1\text{H}$  – wodór,  ${}^2_1\text{H}$  – deuter (D)

# Podstawowe pojęcia chemii (język)

---

## Wielkości opisujące ilość (liczebność) masy

- **Jednostka masy atomowej (u, amu, także dalton (Da))** – wielkość umowna zdefiniowana jako 1/12 masy atomu węgla  $^{12}\text{C}$ .

$$1 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MeV} = 1,492 \times 10^{-10} \text{ J} \quad (E=mc^2)$$

- **Względna masa atomowa** – wielkość określająca, ile razy masa danego atomu jest większa od 1/12 masy atomu izotopu  $^{12}\text{C}$ , czyli masa atomu względem jednostki umownej. Analogicznie określa się względną masę cząsteczkową.
- **Mol** – jest miarą liczności materii. 1 mol dowolnych indywiduów (atomów, jonów, cząsteczek, elektronów itd.) odpowiada liczbie tych indywiduów równej liczbie atomów zawartych w 12 g węgla  $^{12}\text{C}$ . Liczba ta, zwana **liczbą (stałą) Avogadro (NA)**, jest równa  $6,022137 \times 10^{23}$ .
- **Masa molowa** – masa 1 mola atomów (**masa atomowa**) lub cząsteczek (**masa cząsteczkowa**), wyrażona w gramach.

# Podstawowe pojęcia chemii (język)

---

Wielkości opisujące ilość (liczebność) masy

## Masa atomowa

Dla „czystych” izotopów wartości **względnej masy atomowej** są zbliżone do liczby nukleonów (liczby masowej). Różnice wynikają z efektów relatywistycznych – masa jądra atomowego jest różna od sumy mas tworzących je nukleonów.

$^1\text{H}$	1.00783	$^{12}\text{C}$	12.00000	$^{17}\text{O}$	16.99913	$^{35}\text{Cl}$	34.96885
$^2\text{H}$	2.01410	$^{13}\text{C}$	13.00335	$^{18}\text{O}$	17.99916	$^{37}\text{Cl}$	36.96590
$^3\text{H}$	3.01605	$^{14}\text{C}$	14.00324	$^{18}\text{F}$	18.00094	$^{36}\text{Ar}$	35.96755
$^4\text{He}$	4.00260	$^{16}\text{C}$	16.01470	$^{18}\text{Ne}$	18.00571	$^{38}\text{Ar}$	37.96273
$^6\text{He}$	6.01889	$^{14}\text{N}$	14.00307	$^{28}\text{Si}$	27.97693	$^{40}\text{Ar}$	39.96238
$^6\text{Li}$	6.01512	$^{15}\text{N}$	15.00011	$^{29}\text{Si}$	28.97649	$^{87}\text{Rb}$	86.90919
$^7\text{Li}$	7.01600	$^{16}\text{N}$	16.00610	$^{30}\text{Si}$	29.97377		
$^7\text{Be}$	7.01693	$^{16}\text{O}$	15.99491	$^{32}\text{S}$	31.97207		

# Układ okresowy pierwiastków



1																	18								
1	1 H Wodór 1.008																	2 He Hel 4.003	1						
2	3 Li Lit 6.94	4 Be Beryl 9.01																	5 B Bor 10.81	6 C Węgiel 12.01	7 N Azot 14.01	8 O Tlen 15.99	9 F Fluor 18.99	10 Ne Neon 20.18	2
3	11 Na Sód 22.99	12 Mg Magnez 24.30																	13 Al Glin 26.98	14 Si Krzem 28.09	15 P Fosfor 30.97	16 S Siarka 32.07	17 Cl Chlor 35.45	18 Ar Argon 39.95	3
4	19 K Potas 39.10	20 Ca Wapń 40.08	21 Sc Skand 44.96	22 Ti Tytan 47.88	23 V Wanad 50.94	24 Cr Chrom 51.99	25 Mn Mangan 54.94	26 Fe Żelazo 55.85	27 Co Kobalt 58.93	28 Ni Nikiel 58.69	29 Cu Miedź 63.55	30 Zn Cynk 65.38	31 Ga Gali 69.72	32 Ge German 72.61	33 As Arsen 74.92	34 Se Selen 78.96	35 Br Brom 79.90	36 Kr Krypton 83.80	4						
5	37 Rb Rubid 85.47	38 Sr Stront 87.62	39 Y Itr 88.91	40 Zr Cyrkon 91.22	41 Nb Niob 92.91	42 Mo Molibden 95.94	43 Tc Technet 98.91	44 Ru Ruten 101.07	45 Rh Rod 102.91	46 Pd Pallad 106.42	47 Ag Srebro 107.87	48 Cd Kadm 112.41	49 In Ind 114.82	50 Sn Cyna 118.71	51 Sb Antymon 121.75	52 Te Tellur 127.60	53 I Jod 126.90	54 Xe Ksenon 131.29	5						
6	55 Cs Cez 132.91	56 Ba Bar 137.33	57 La Lantan	72 Hf Hafn 178.49	73 Ta Tantal 180.95	74 W Wolfram 183.85	75 Re Ren 186.21	76 Os Osm 190.2	77 Ir Iryd 192.22	78 Pt Platyna 195.08	79 Au Złoto 196.97	80 Hg Rtęć 200.59	81 Tl Tali 204.38	82 Pb Ołów 207.2	83 Bi Bismut 208.98	84 Po Polon 209	85 At Astat 209	86 Rn Radon 222.02	6						
7	87 Fr Franc 223.02	88 Ra Rad 226.03	89 Ac Aktyn	104 Rf Rutherford	105 Db Dubn	106 Sg Seaborg	107 Bh Bohr	108 Hs Has	109 Mt Meitner	110 Uun Ununnilium	111 Uuu Ununnilium	112 Uub Ununbium	113	114 Uuq Ununquadium	115	116 Uuh Ununhexium	117	118 Uuo Ununoctium	7						

\* Symbol chemiczny i angielska nazwa pierwiastka zostały zatwierdzone przez IUPAC w 1997 r.  
 Podano proponowaną nazwę polską.

## Lantanowce

58 Ce Cer 140.12	59 Pr Prazeodym 140.91	60 Nd Neodym 144.24	61 Pm Promet	62 Sm Samar 150.36	63 Eu Europ 151.96	64 Gd Gadolin 157.25	65 Tb Terb 158.93	66 Dy Dysproz 162.50	67 Ho Holm 164.93	68 Er Erb 167.26	69 Tm Tul 168.93	70 Yb Iterb 173.04	71 Lu Lutet 174.97
------------------------	------------------------------	---------------------------	-----------------	--------------------------	--------------------------	----------------------------	-------------------------	----------------------------	-------------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	--------------------------

## Aktynowce

88 Ra Rad	89 Ac Aktyn	90 Th Tor 232.04	91 Pa Protaktyn 231.04	92 U Uran 238.03	93 Np Neptun 237.05	94 Pu Pluton 244.06	95 Am Ameryk 243.06	96 Cm Kuri 247.07	97 Bk Berkel 247.07	98 Cf Kaliforn 251.08	99 Es Einstein 252.08	100 Fm Ferm 257.09	101 Md Mendelew 258.1	102 No Nobel 259.10	103 Lr Lorens 260.11
--------------	----------------	------------------------	------------------------------	------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	-------------------------	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------	--------------------------	-----------------------------	---------------------------	----------------------------

- METALE
- NIEMETALE
- NIEMETALE – GAZY SZLACHETNE
- PÓLMETALE

# Podstawowe pojęcia chemii (język)

---

Wielkości opisujące ilość (liczebność) masy

## Masa atomowa

W przypadku większości pierwiastków **naturalne próbki** są mieszaniną kilkunastu izotopów (**nuklidów**). W takich przypadkach za względną masę atomową przyjmuje się średnią ważoną mas poszczególnych izotopów, wchodzących w skład próbki danego pierwiastka.

Na przykład:

występujący w przyrodzie chlor jest mieszaniną 2 izotopów:  $^{35}\text{Cl}$  (75,77%) i  $^{37}\text{Cl}$  (24,23 %), o względnych masach wynoszących odpowiednio 34,968852 i 36,965903. Średnia względna masa atomowa chloru o naturalnym składzie izotopowym wynosi więc:

$$A_r = \frac{75,77 \cdot 34,968852 + 24,23 \cdot 36,965903}{100} = 35,45274 \text{ amu}$$

# Podstawowe pojęcia chemii (język)

---

Wielkości opisujące ilość (liczebność) masy

## Objętość molowa gazu

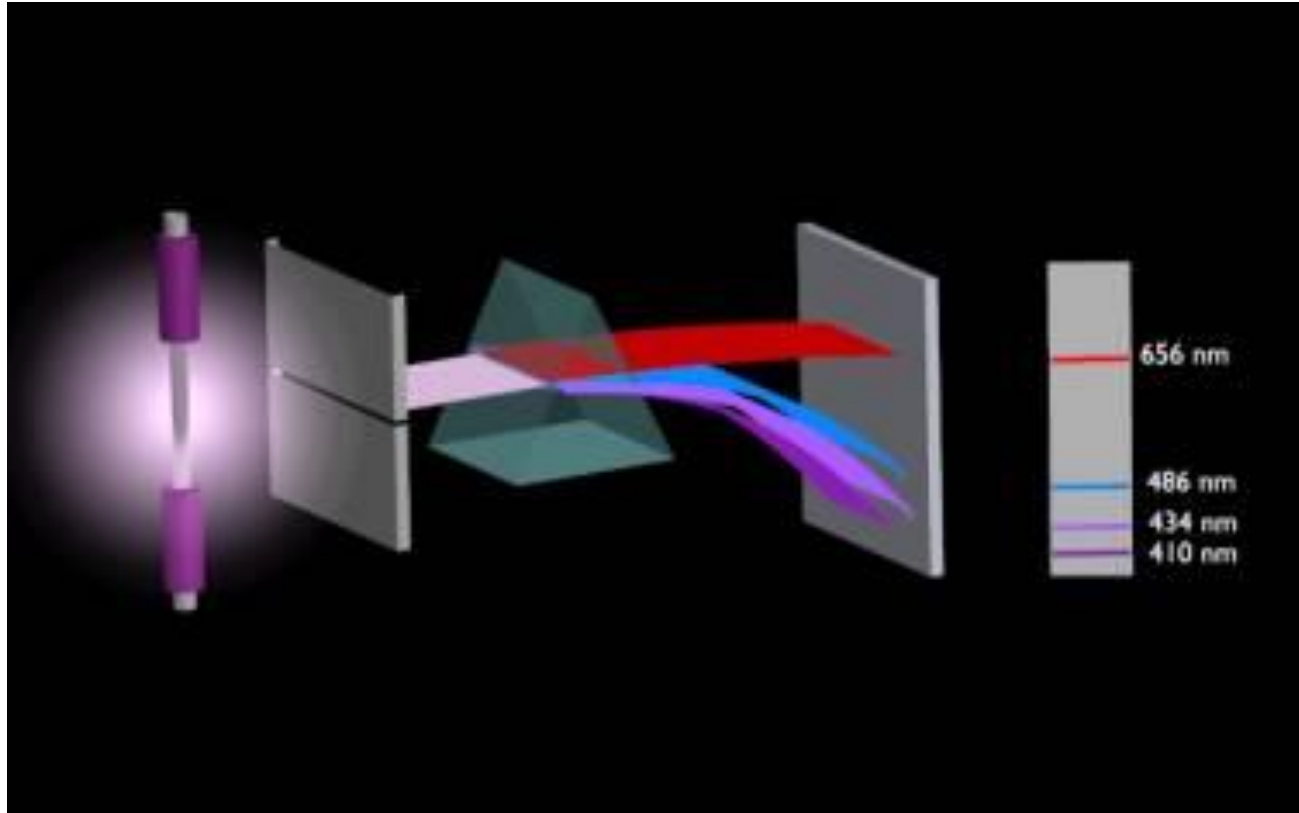
W warunkach normalnych ( $T = 273,15 \text{ K}$ ;  $p = 101324 \text{ Pa}$ ) 1 mol gazu doskonałego zajmuje objętość  $22,4 \text{ dm}^3$ .

Aby obliczyć objętość 1 mola gazu doskonałego w innych warunkach wykorzystujemy tzw. **równanie Clapeyrona**, ( $R = 8,3147 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ).

$$pV = nRT \quad n - \text{liczba moli gazu}$$

# Elektronowa struktura atomu

---

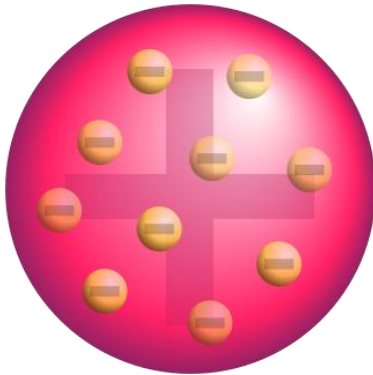


Lampa wodorowa pod wpływem przyłożonego napięcia powoduje emisję światła. Widmo tego światła nie jest ciągłe, inaczej niż w przypadku żarzącego się metalu. Mówimy, że widmo takie jest liniowe, albo dyskretne.

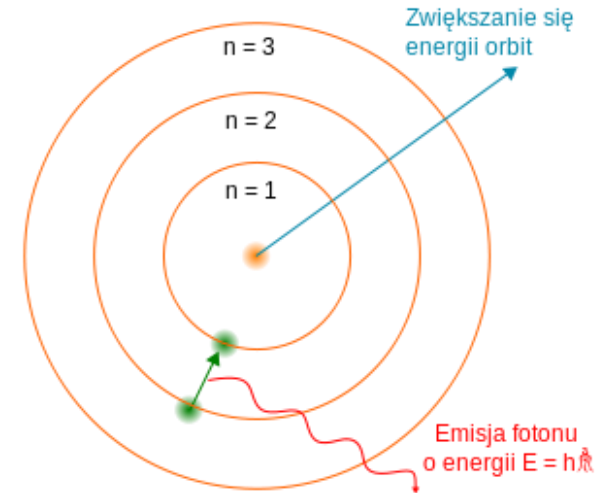
# Elektronowa struktura atomu

---

Thomson 1904 (ciasto z rodzynkami)



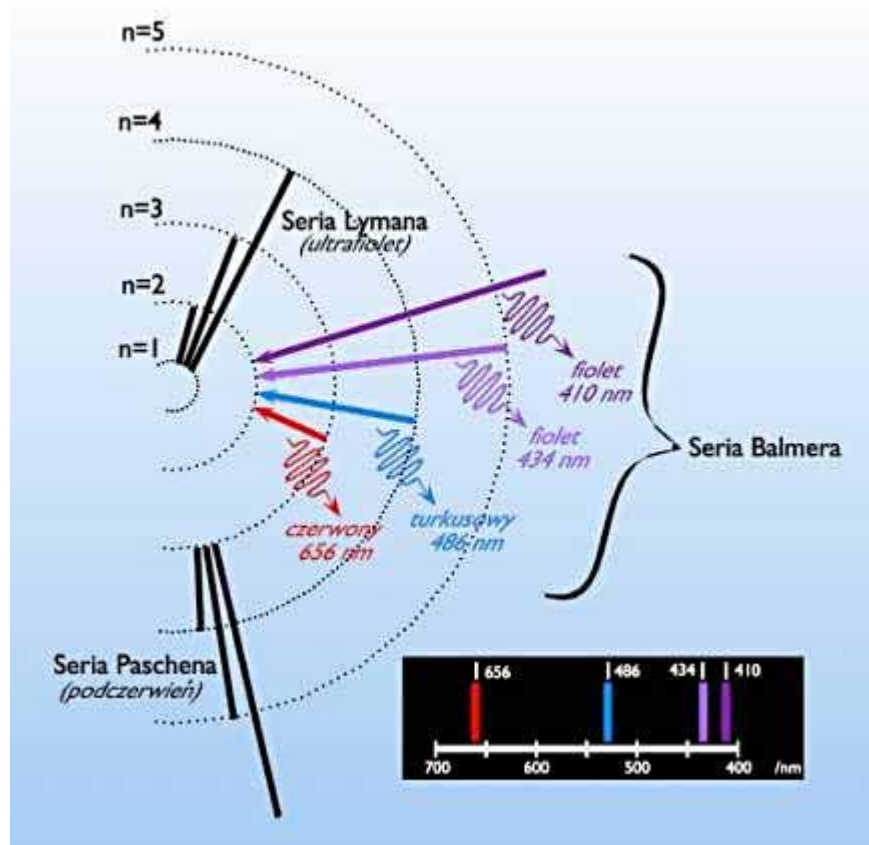
Niels Bohr 1913



## Model atomu Bohra – postulaty

- Elektron porusza się po orbicie kołowej dookoła jądra. Energia elektronu jest stała (nie wypromieniowuje energii).
- Dozwolone są orbity, dla których orbitalny moment pędu elektronu jest równy całkowitej wielokrotności wyrażenia  $h/2\pi$ .
- Wypromieniowanie lub pochłanianie kwantu następuje wtedy, kiedy elektron przeskakuje z jednej dozwolonej orbity na drugą. Częstotliwość wyemitowanego (pochłoniętego) promieniowania jest taka, że  $\Delta E = h\nu$ .

# Elektronowa struktura atomu



W oparciu o model atomu Bohra dało się już wytłumaczyć, skąd biorą się linie w widmie emisyjnym wodoru.

# Elektronowa struktura atomu

---

## Do zapamiętania!!!

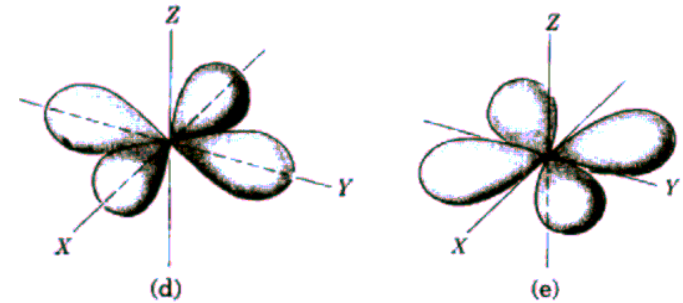
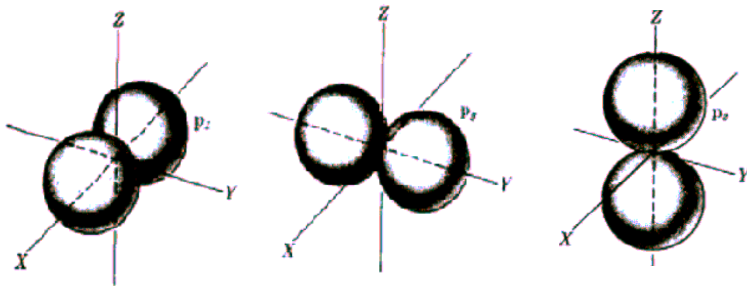
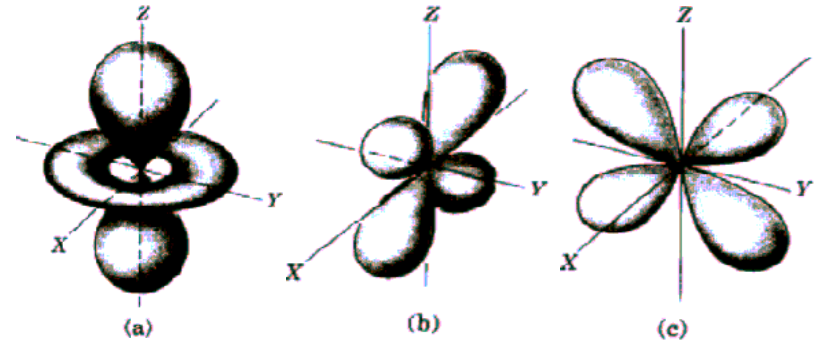
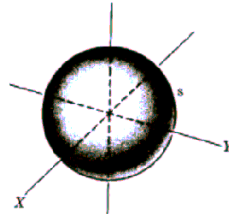
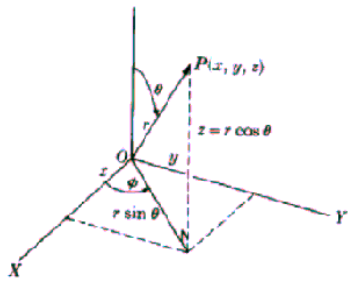
**Elektrony** przemieszczając się pomiędzy poszczególnymi **orbitami (orbitalami)**, pochłaniają lub emitują ściśle określone porcje energii (**kwanty**), które poruszają się w przestrzeni ruchem falowym i posiadają masę. Kwanty o energii z zakresu światła widzialnego nazywamy **fotonami**.

Obecnie do opisu cząstek elementarnych stosuje się prawa **mechaniki kwantowej**. Jej podstawowym równaniem jest **równanie Schrödingera** (1926),

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \Psi = 0$$

które pozwala wyznaczyć **prawdopodobieństwo** występowania elektronu w określonej przestrzeni wokół jądra wodoru.

# Elektronowa struktura atomu



Rozwiązaniami równania Schrödingera są zestawy liczb opisujących stan elektronu. Są to **liczby kwantowe**:  $n$  - główna,  $l$  - orbitalna,  $m_l$  - magnetyczna. Przyjmują one wartości:

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

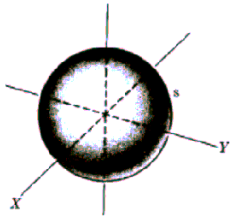
$$l = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$$

$$m_l = -l, -l+1, \dots, 0, \dots, l-1, l$$

# Elektronowa struktura atomu

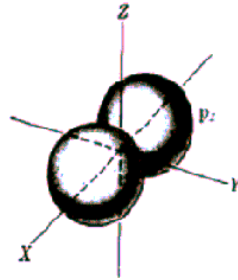
---

## Przykłady orbitali



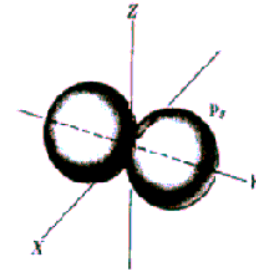
2s

$$\begin{aligned} n &= 2 \\ l &= 0 \\ m_l &= 0 \end{aligned}$$



2p<sub>x</sub>

$$\begin{aligned} n &= 2 \\ l &= 1 \\ m_l &= 0 \end{aligned}$$



2p<sub>y</sub>

$$\begin{aligned} n &= 2 \\ l &= 1 \\ m_l &= -1 \end{aligned}$$

# Elektronowa struktura atomu

---

- **główna liczba kwantowa  $n$**  – opisuje energię stanu kwantowego (**powłoki elektronevej**), odpowiada odległości od jądra;  
 $n = 1\ 2\ 3\ 4$ ; symbol literowy powłoki: K L M N
- **orbitalna (poboczna) liczba kwantowa  $\ell$**  - jest miarą wielkości orbitalnego momentu pędu, decyduje o kształcie i wielkości **orbitali (podpowłok)**, na których prawdopodobieństwo znalezienia elektronu jest największe;  
 $\ell = 0\ 1\ 2\ 3 \dots n-1$ ; symbol literowy powłoki: s p d f...
- **magnetyczna liczba kwantowa  $m$**  – jest zawiązana z przestrzenną orientacją wektora orbitalnego momentu pędu, określa wzajemne ustawienie **orbitali** w zewnętrznym polu magnetycznym;  
 $-\ell \leq m \leq +\ell$

Do pełnego opisu stanu kwantowego elektronu w atomie potrzebna jest jeszcze czwarta liczba kwantowa związana z kierunkiem obrotu elektronu dookoła własnej osi, spinowa liczba kwantowa  $m_s$ :

- **spinowa liczba kwantowa  $m_s$**  – związana jest ze spinowym momentem pędu, umożliwia rozróżnienie elektronów o tych samych liczbach kwantowych  $n, \ell, m$ ;

$$m_s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$$

# Elektronowa struktura atomu

---

## Liczby kwantowe i rozmieszczenie elektronów w atomie

- **Zasada minimum energii:** w stanie podstawowy atomu elektrony lokalizują się kolejno na poziomach energetycznych o możliwie najniższej wartości energii.
- Maksymalna ilość elektronów na powłoce jest równa maksymalnej ilości stanów energetycznych. Maksymalna ilość stanów energetycznych na powłoce (ilość kombinacji liczb kwantowych  $n, \ell, m_\ell, m_s$ ) wynosi  $2n^2$ .
- **Zakaz Pauliego:** w atomie nie mogą istnieć dwa elektrony o identycznym stanie kwantowym (o takich samych liczbach kwantowych  $n, \ell, m_\ell, m_s$ ); elektrony w atomie muszą różnić się co najmniej jedną liczbą kwantową.
- **Reguła Hunda:** (reguła maksymalnej różnorodności) – najbardziej prawdopodobny jest taki stan energetyczny atomu, w którym liczba elektronów niesparowanych w każdej powłoce jest największa.
- W każdej **podpowłoce** kolejne elektrony obsadzają pojedynczo poszczególne orbitale, a w następnej kolejności na orbitalach tych są umieszczane drugie elektrony o przeciwnych liczbach spinowych.

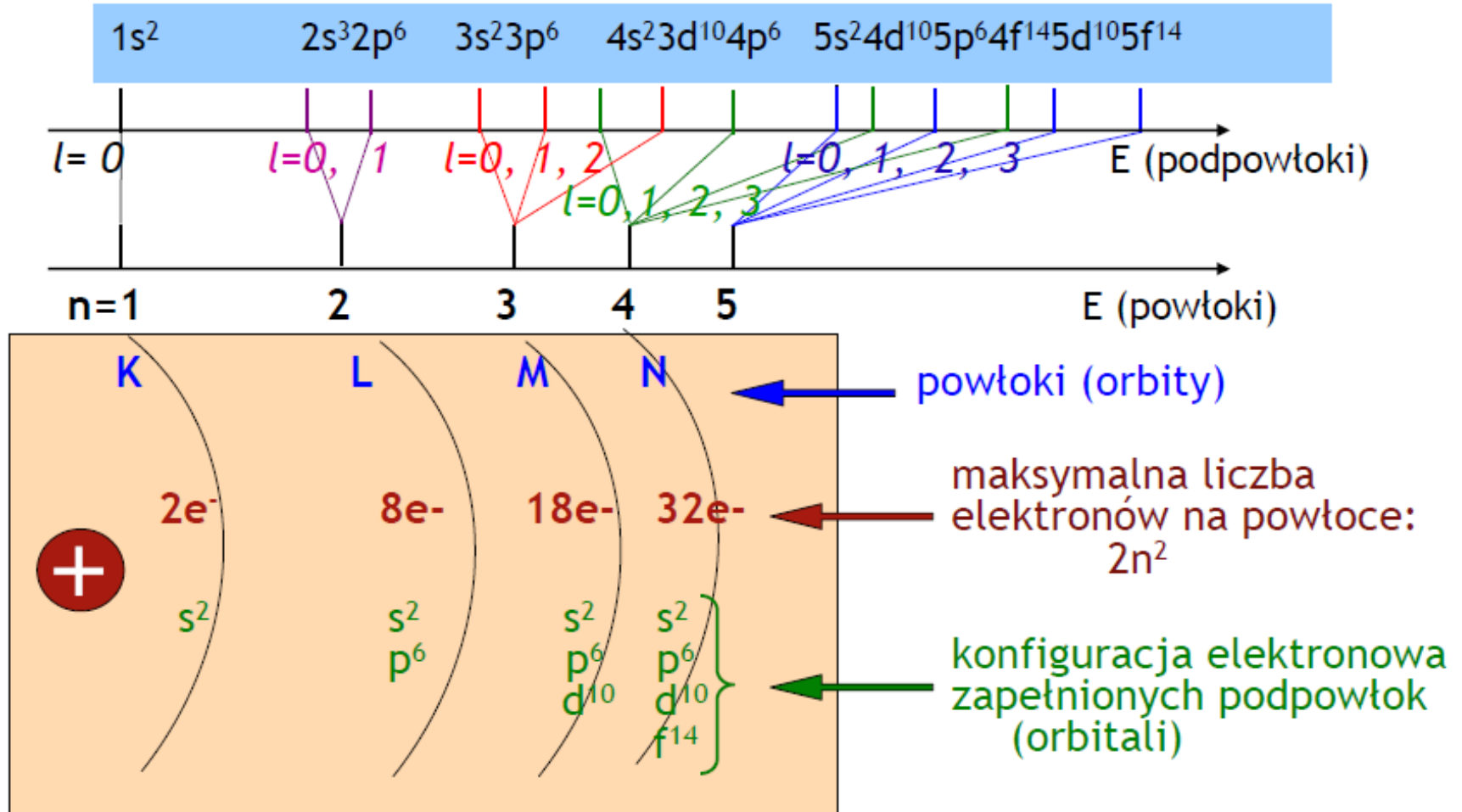
# Elektronowa struktura atomu

## Liczby kwantowe i rozmieszczenie elektronów w atomie

$n$	$l$ 0,1,..n-1	$m_l$ $-l \leq m \leq +l$	Liczba orbitali	$m_s$	Max. liczba e <sup>-</sup> na orbitalu	Max. liczba e <sup>-</sup> na powłoce
1 (K)	0 (s)	0	1	$\pm\frac{1}{2}$	2	2
2 (L)	0 (s)	0	1	$\pm\frac{1}{2}$	2	8
	1 (p)	-1,0,1	3	$\pm\frac{1}{2}$	6	
3 (M)	0 (s)	0	1	$\pm\frac{1}{2}$	2	18
	1 (p)	-1,0,1	3	$\pm\frac{1}{2}$	6	
	2 (d)	-2,-1,0,1,2	5	$\pm\frac{1}{2}$	10	
4 (N)	0 (s)	0	1	$\pm\frac{1}{2}$	2	22
	1 (p)	-1,0,1	3	$\pm\frac{1}{2}$	6	
	2 (d)	-2,-1,0,1,2	5	$\pm\frac{1}{2}$	10	
	3 (f)	-3,-2,-1,0,1,2,3	7	$\pm\frac{1}{2}$	14	

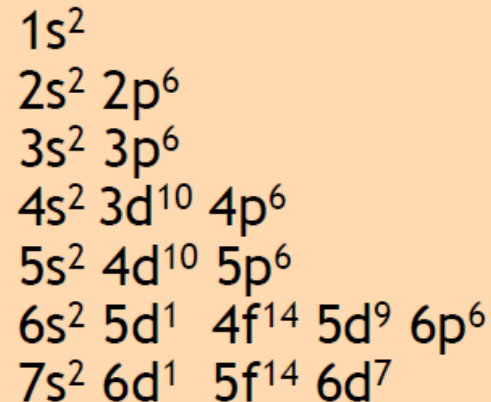
# Elektronowa struktura atomu

## Liczby kwantowe i rozmieszczenie elektronów w atomie



# Układ okresowy pierwiastków

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	<sup>1</sup> H	blok s (2)																<sup>2</sup> He
2	<sup>3</sup> Li	<sup>4</sup> Be	blok d (10)										<sup>5</sup> B	<sup>6</sup> C	<sup>7</sup> N	<sup>8</sup> O	<sup>9</sup> F	<sup>10</sup> Ne
3	<sup>11</sup> Na	<sup>12</sup> Mg	blok d (10)										<sup>13</sup> Al	<sup>14</sup> Si	<sup>15</sup> P	<sup>16</sup> S	<sup>17</sup> Cl	<sup>18</sup> Ar
4	<sup>19</sup> K	<sup>20</sup> Ca	<sup>21</sup> Sc	<sup>22</sup> Ti	<sup>23</sup> V	<sup>24</sup> Cr	<sup>25</sup> Mn	<sup>26</sup> Fe	<sup>27</sup> Co	<sup>28</sup> Ni	<sup>29</sup> Cu	<sup>30</sup> Zn	<sup>31</sup> Ga	<sup>32</sup> Ge	<sup>33</sup> As	<sup>34</sup> Se	<sup>35</sup> Br	<sup>36</sup> Kr
5	<sup>37</sup> Rb	<sup>38</sup> Sr	<sup>39</sup> Y	<sup>40</sup> Zr	<sup>41</sup> Nb	<sup>42</sup> Mo	<sup>43</sup> Tc	<sup>44</sup> Ru	<sup>45</sup> Rh	<sup>46</sup> Pd	<sup>47</sup> Ag	<sup>48</sup> Cd	<sup>49</sup> In	<sup>50</sup> Sn	<sup>51</sup> Sb	<sup>52</sup> Te	<sup>53</sup> I	<sup>54</sup> Xe
6	<sup>55</sup> Cs	<sup>56</sup> Ba	<sup>57</sup> La	<sup>72</sup> Hf	<sup>73</sup> Ta	<sup>74</sup> W	<sup>75</sup> Re	<sup>76</sup> Os	<sup>77</sup> Ir	<sup>78</sup> Pt	<sup>79</sup> Au	<sup>80</sup> Hg	<sup>81</sup> Tl	<sup>82</sup> Pb	<sup>83</sup> Bi	<sup>84</sup> Po	<sup>85</sup> At	<sup>86</sup> Rn
7	<sup>87</sup> Fr	<sup>88</sup> Ra	<sup>89</sup> Ac	<sup>104</sup> Rf	<sup>105</sup> Db	<sup>106</sup> Sg	<sup>107</sup> Bh	<sup>108</sup> Hs	<sup>109</sup> Mt	blok p (6)								
	<sup>58</sup> Ce	<sup>59</sup> Pr	<sup>60</sup> Nd	<sup>61</sup> Pm	<sup>62</sup> Sm	<sup>63</sup> Eu	<sup>64</sup> Gd	<sup>65</sup> Tb	<sup>66</sup> Dy	<sup>67</sup> Ho	<sup>68</sup> Er	<sup>69</sup> Tm	<sup>70</sup> Yb	<sup>71</sup> Lu	} blok f (14)			
	<sup>90</sup> Th	<sup>91</sup> Pa	<sup>92</sup> U	<sup>93</sup> Np	<sup>94</sup> Pu	<sup>95</sup> Am	<sup>96</sup> Cm	<sup>97</sup> Bk	<sup>98</sup> Cf	<sup>99</sup> Es	<sup>100</sup> Fm	<sup>101</sup> Md	<sup>102</sup> No	<sup>103</sup> Lr				



## Okresy (1....7)

- nr okresu: ilość powłok elektronowych
- w ramach jednego okresu wzrasta ilość elektronów na ostatniej powłoce

## Grupy (1....18)

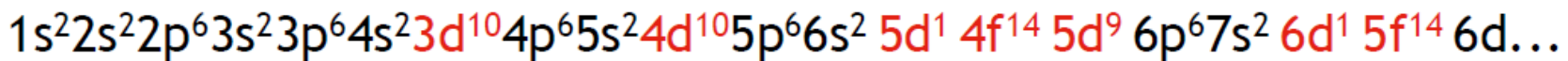
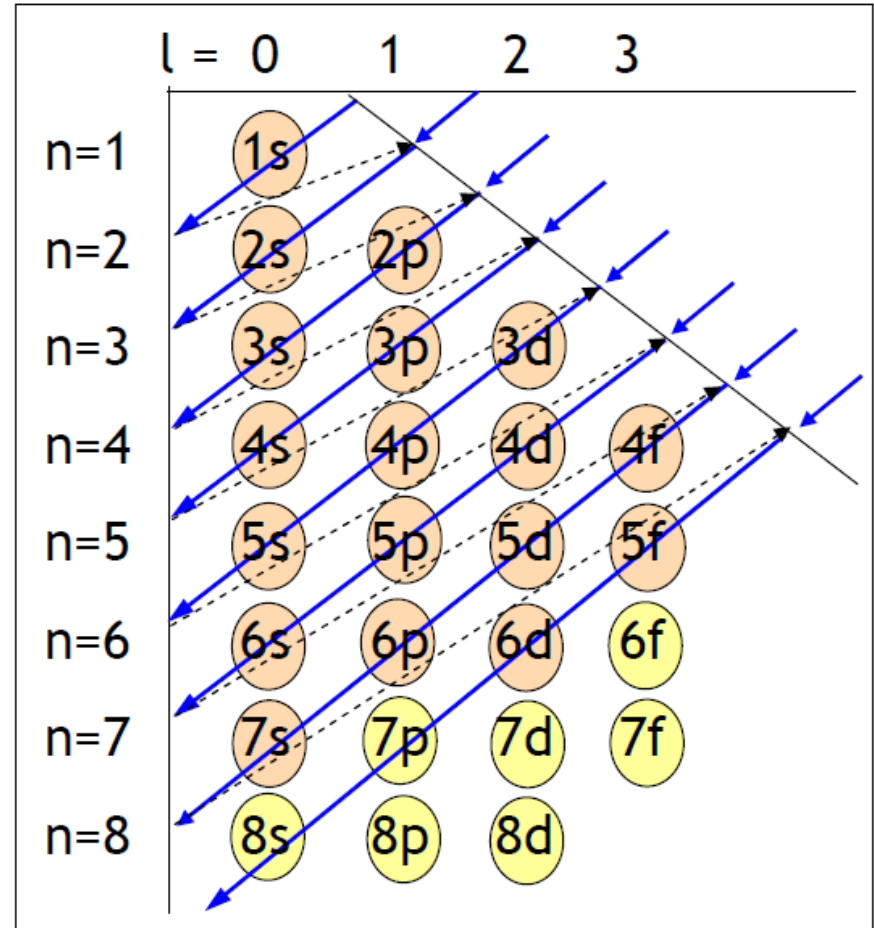
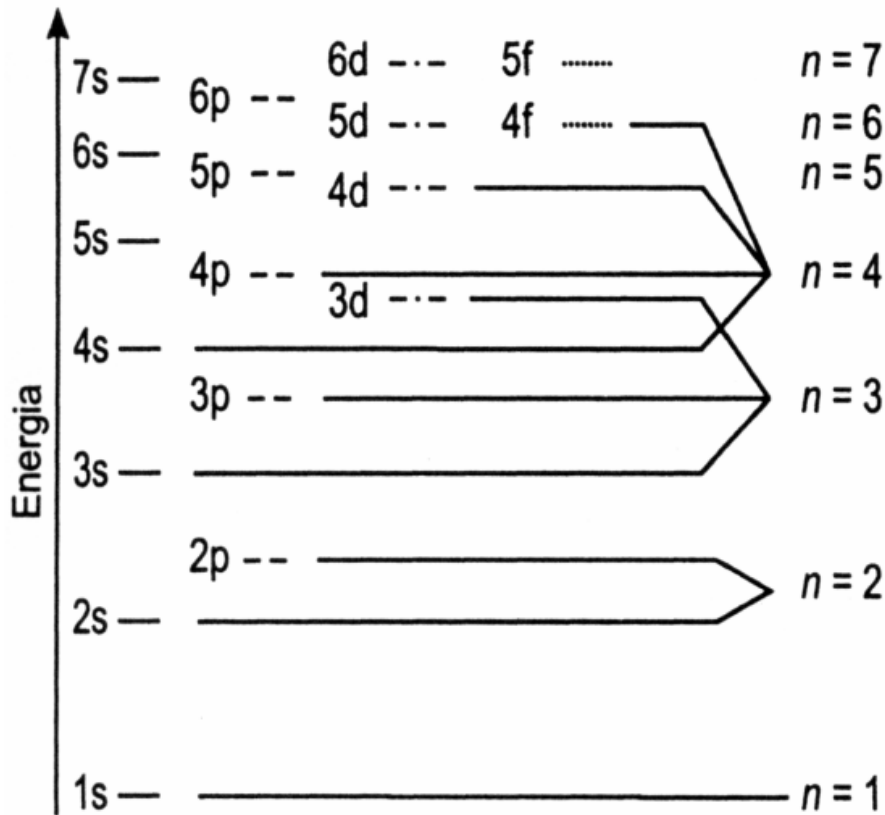
- nr grupy: ilość elektronów na ostatniej powłoce
- w ramach jednej grupy wrasta ilość zapętnionych powłok

## Bloki (s, p, d, f)

- blok s - rozbudowuje powłokę s:  $ns^1$ - $ns^2$  (grupy 1 i 2)
- blok p - rozbudowuje powłokę p:  $ns^2np^1$ -  $ns^2np^6$  (grupy 13-18)
- blok d - rozbudowuje powłokę d:  $ns^2(n-1)d^1$ -  $ns^2(n-1)d^{10}$  (grupy 3-12)
- blok f - rozbudowuje powłokę f:  $ns^2(n-1)d^1(n-2)f^1$ - $ns^2(n-1)d^1(n-2)f^{14}$  ...(grupa 3)

# Elektronowa struktura atomu

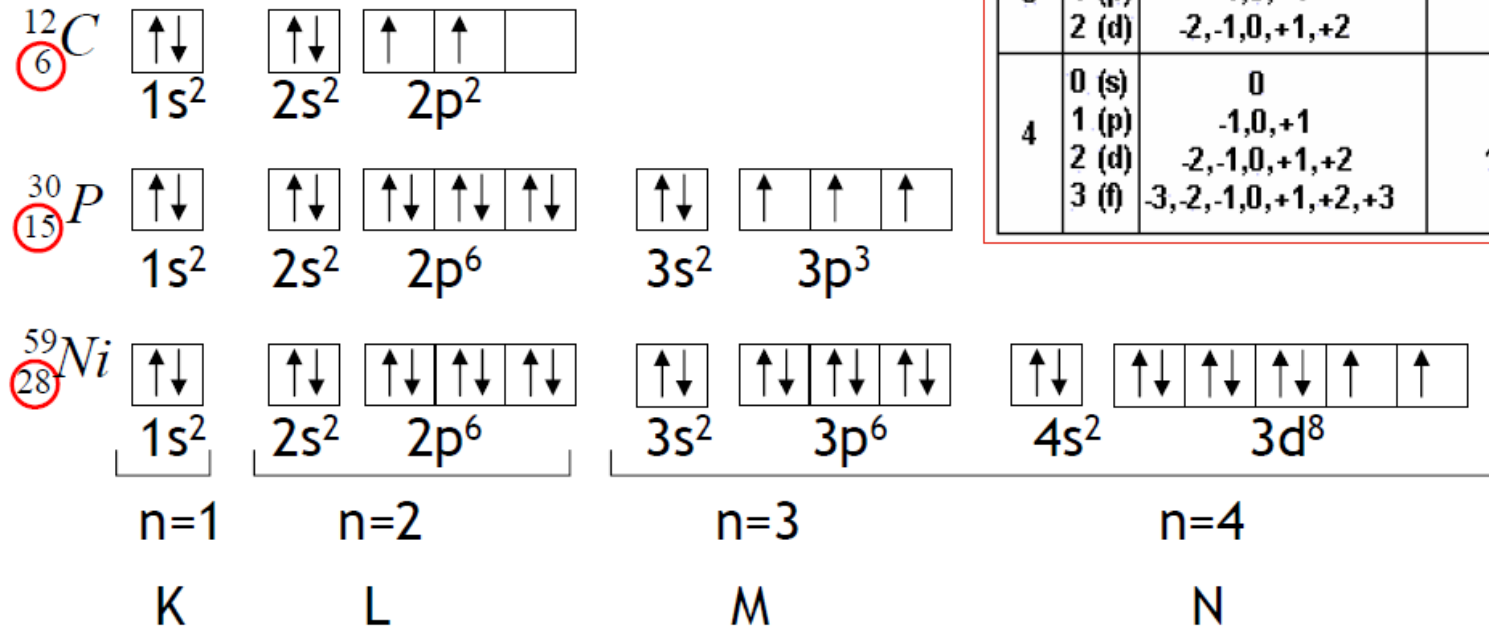
## Energia orbitali w atomach innych niż wodór



# Elektronowa struktura atomu

## Graficzny zapis elektronowej struktury atomu

- klatka reprezentuje orbital dostępny dla dwóch elektronów
- ↑ - strzałki oznaczają elektrony
- ↑↓ - przeciwne zwroty oznaczają przeciwne spiny



Liczby kwantowe			liczba stanów	
n	l	ml	w pod-powloce	w powloce
1	0 (s)	0	2	2
2	0 (s)	0	2	8
	1 (p)	-1,0,+1	6	
3	0 (s)	0	2	18
	1 (p)	-1,0,+1	6	
	2 (d)	-2,-1,0,+1,+2	10	
4	0 (s)	0	2	32
	1 (p)	-1,0,+1	6	
	2 (d)	-2,-1,0,+1,+2	10	
	3 (f)	-3,-2,-1,0,+1,+2,+3	14	

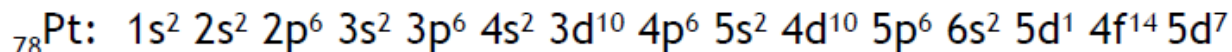
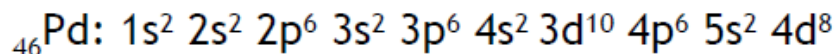
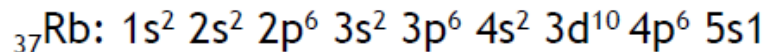
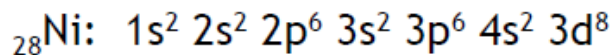
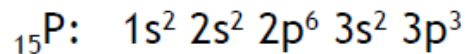
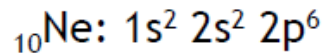
# Elektronowa struktura atomu

## Do zapamiętania!!!

- Na podstawie konfiguracji elektronowej atomu określić można położenie pierwiastka w **układzie okresowym** i opisać jego właściwości chemiczne. Decydują o nich (właściwościach) elektrony ostatniej, najdalej odsuniętej od jądra powłoki elektronowej, tzw. **powłoki walencyjnej**.
- **Reguła oktetu** (dubletu): każdy pierwiastek dąży do uzyskania na ostatniej powłoce elektronowej 8 (2) elektronów, czyli struktury elektronowej gazu szlachetnego. Dążność ta prowadzi do postawiania związków chemicznych!!!



*Jaka jest konfiguracja elektronowa atomu o zadanej liczbie atomowej?*



# Układ okresowy pierwiastków

---

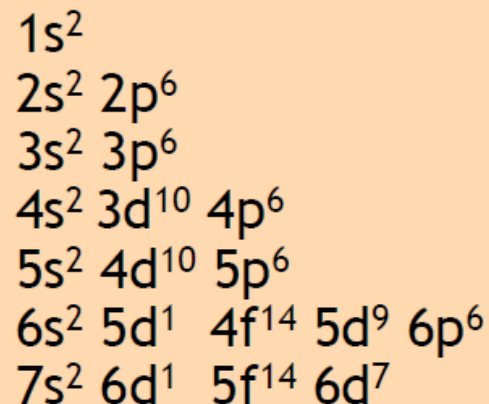
- **Układ okresowy pierwiastków** – tabela, która obejmuje wszystkie znane pierwiastki chemiczne uporządkowane według określonych reguł.
- **Mendelejew** (1869r) - uporządkował znane wówczas pierwiastki chemiczne **według wzrastających mas atomowych**, uwzględniając powtarzające się okresowo właściwości chemiczne tych pierwiastków. Wystąpiły pewne niezgodności między właściwościami pierwiastków i kolejnością ich uszeregowania (np. Ni i Co, Te i J). Przypisywano to błędom w wyznaczaniu mas atomowych.
- **H.G. Moseley** (1913) – na podstawie analizy długości fal promieni rentgenowskich emitowanych przez różne atomy przedstawił inną kolejność numerowania pierwiastków (zależną od liczby  $Z$ ). Na podstawie kolejnych badań okazało się, że  $Z$  zależy od ilości elektronów. Jest to więc liczba atomowa.

# Układ okresowy pierwiastków

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt									
58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu				
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr				

# Układ okresowy pierwiastków

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	<sup>1</sup> H	blok s (2)																<sup>2</sup> He
2	<sup>3</sup> Li	<sup>4</sup> Be	blok d (10)										<sup>5</sup> B	<sup>6</sup> C	<sup>7</sup> N	<sup>8</sup> O	<sup>9</sup> F	<sup>10</sup> Ne
3	<sup>11</sup> Na	<sup>12</sup> Mg	blok d (10)										<sup>13</sup> Al	<sup>14</sup> Si	<sup>15</sup> P	<sup>16</sup> S	<sup>17</sup> Cl	<sup>18</sup> Ar
4	<sup>19</sup> K	<sup>20</sup> Ca	<sup>21</sup> Sc	<sup>22</sup> Ti	<sup>23</sup> V	<sup>24</sup> Cr	<sup>25</sup> Mn	<sup>26</sup> Fe	<sup>27</sup> Co	<sup>28</sup> Ni	<sup>29</sup> Cu	<sup>30</sup> Zn	<sup>31</sup> Ga	<sup>32</sup> Ge	<sup>33</sup> As	<sup>34</sup> Se	<sup>35</sup> Br	<sup>36</sup> Kr
5	<sup>37</sup> Rb	<sup>38</sup> Sr	<sup>39</sup> Y	<sup>40</sup> Zr	<sup>41</sup> Nb	<sup>42</sup> Mo	<sup>43</sup> Tc	<sup>44</sup> Ru	<sup>45</sup> Rh	<sup>46</sup> Pd	<sup>47</sup> Ag	<sup>48</sup> Cd	<sup>49</sup> In	<sup>50</sup> Sn	<sup>51</sup> Sb	<sup>52</sup> Te	<sup>53</sup> I	<sup>54</sup> Xe
6	<sup>55</sup> Cs	<sup>56</sup> Ba	<sup>57</sup> La	<sup>72</sup> Hf	<sup>73</sup> Ta	<sup>74</sup> W	<sup>75</sup> Re	<sup>76</sup> Os	<sup>77</sup> Ir	<sup>78</sup> Pt	<sup>79</sup> Au	<sup>80</sup> Hg	<sup>81</sup> Tl	<sup>82</sup> Pb	<sup>83</sup> Bi	<sup>84</sup> Po	<sup>85</sup> At	<sup>86</sup> Rn
7	<sup>87</sup> Fr	<sup>88</sup> Ra	<sup>89</sup> Ac	<sup>104</sup> Rf	<sup>105</sup> Db	<sup>106</sup> Sg	<sup>107</sup> Bh	<sup>108</sup> Hs	<sup>109</sup> Mt	blok p (6)								
	<sup>58</sup> Ce	<sup>59</sup> Pr	<sup>60</sup> Nd	<sup>61</sup> Pm	<sup>62</sup> Sm	<sup>63</sup> Eu	<sup>64</sup> Gd	<sup>65</sup> Tb	<sup>66</sup> Dy	<sup>67</sup> Ho	<sup>68</sup> Er	<sup>69</sup> Tm	<sup>70</sup> Yb	<sup>71</sup> Lu	} blok f (14)			
	<sup>90</sup> Th	<sup>91</sup> Pa	<sup>92</sup> U	<sup>93</sup> Np	<sup>94</sup> Pu	<sup>95</sup> Am	<sup>96</sup> Cm	<sup>97</sup> Bk	<sup>98</sup> Cf	<sup>99</sup> Es	<sup>100</sup> Fm	<sup>101</sup> Md	<sup>102</sup> No	<sup>103</sup> Lr				



## Okresy (1....7)

- nr okresu: ilość powłok elektronowych
- w ramach jednego okresu wzrasta ilość elektronów na ostatniej powłoce

## Grupy (1....18)

- nr grupy: ilość elektronów na ostatniej powłoce
- w ramach jednej grupy wrasta ilość zapelnionych powłok

## Bloki (s, p, d, f)

- blok s - rozbudowuje powłokę s:  $ns^1$ - $ns^2$  (grupy 1 i 2)
- blok p - rozbudowuje powłokę p:  $ns^2np^1$ -  $ns^2np^6$  (grupy 13-18)
- blok d - rozbudowuje powłokę d:  $ns^2(n-1)d^1$ -  $ns^2(n-1)d^{10}$  (grupy 3-12)
- blok f - rozbudowuje powłokę f:  $ns^2(n-1)d^1(n-2)f^1$ - $ns^2(n-1)d^1(n-2)f^{14}$  ...(grupa 3)

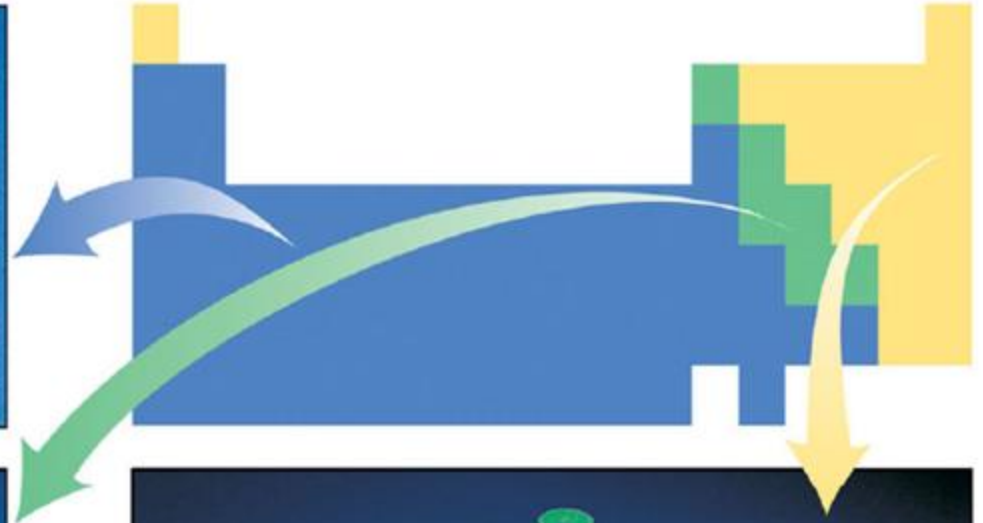
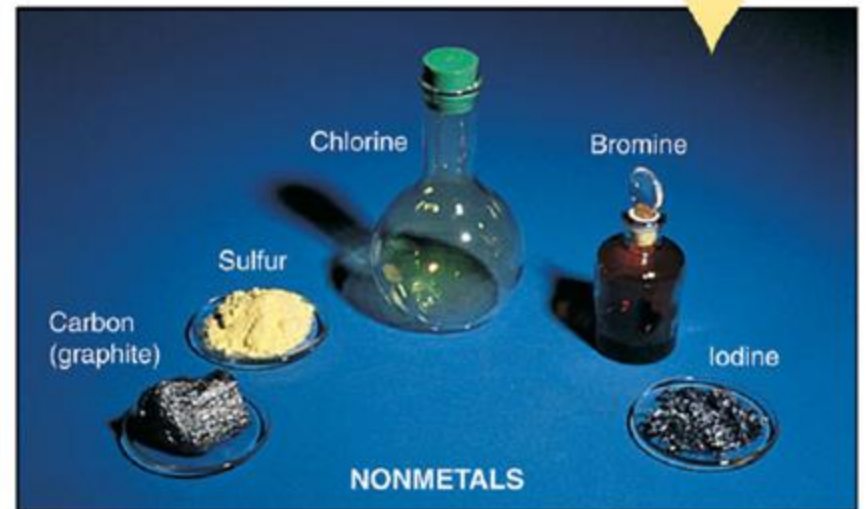
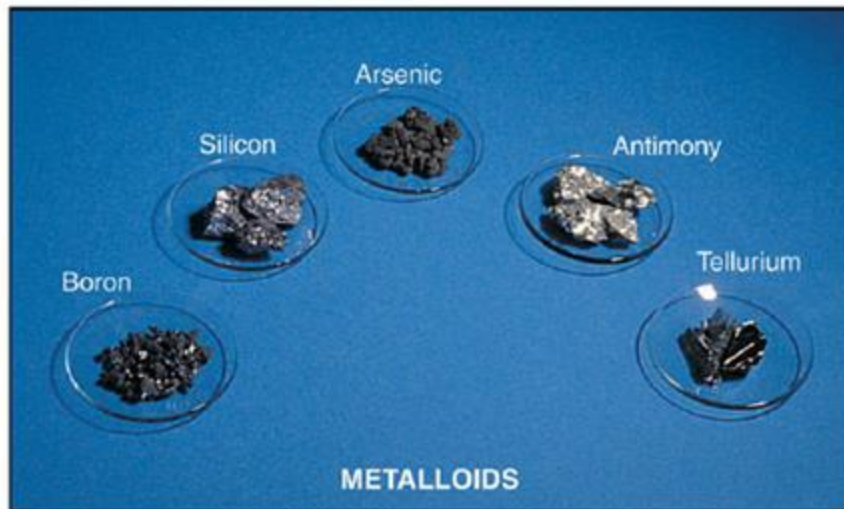
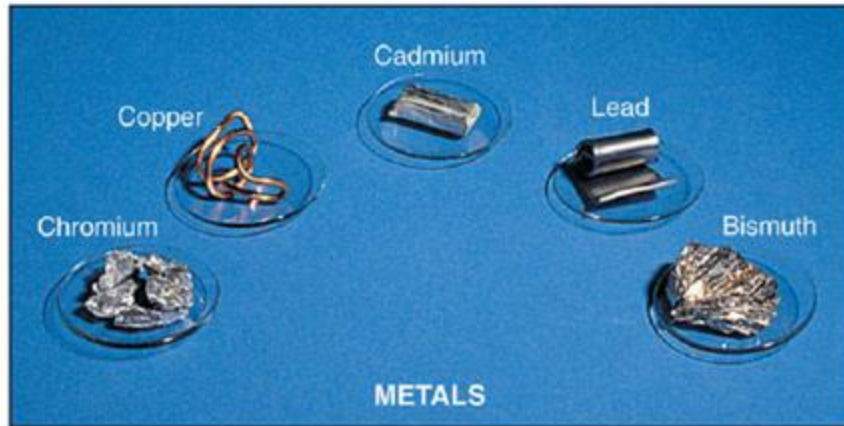
# Układ okresowy pierwiastków

blok s			blok d										blok p					He											
1	H	He																											
2	Li	Be																											
3																													
4		Sc											Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn								
5	litowce	berylowce	blok f										tytanowce	wanadowce	chromowce	manganowce	żelazowce	niklowce	kobaltowce	miedziowce	cynkowce	borowce	węglowce	azotowce	tlenowce	fluorowce	helowce		
6			lantanowce																										
7			aktynowce																										
1	2	3										4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			



# Układ okresowy pierwiastków

## Własności pierwiastków



# Okresowość właściwości pierwiastków chemicznych

- O właściwościach pierwiastków decydują elektrony znajdujące się na ostatniej powłoce elektronowej (tzw. elektrony walencyjne)
- Właściwości pierwiastków należących do tej samej grupy są podobne
- Najtrwalszą konfiguracją elektronową wykazują pierwiastki z całkowicie wypełnioną powłoką walencyjną:
  - $s^2p^6$  - struktura pełnego oktetu (gazy szlachetne)
  - $s^2p^6d^{10}$  - pełny oktet i wypełniony orbital d
- Atomy dążą do uzyskania konfiguracji elektronowej gazu szlachetnego
  - pierwiastki z bloku s i d na ogół oddają elektrony (są metalami)
  - pierwiastki z bloku p:
    - oddają elektrony gdy na orbitalu p ilość elektronów jest  $<3$
    - oddają bądź przyjmują elektrony gdy na p ilość elektronów jest  $>4$

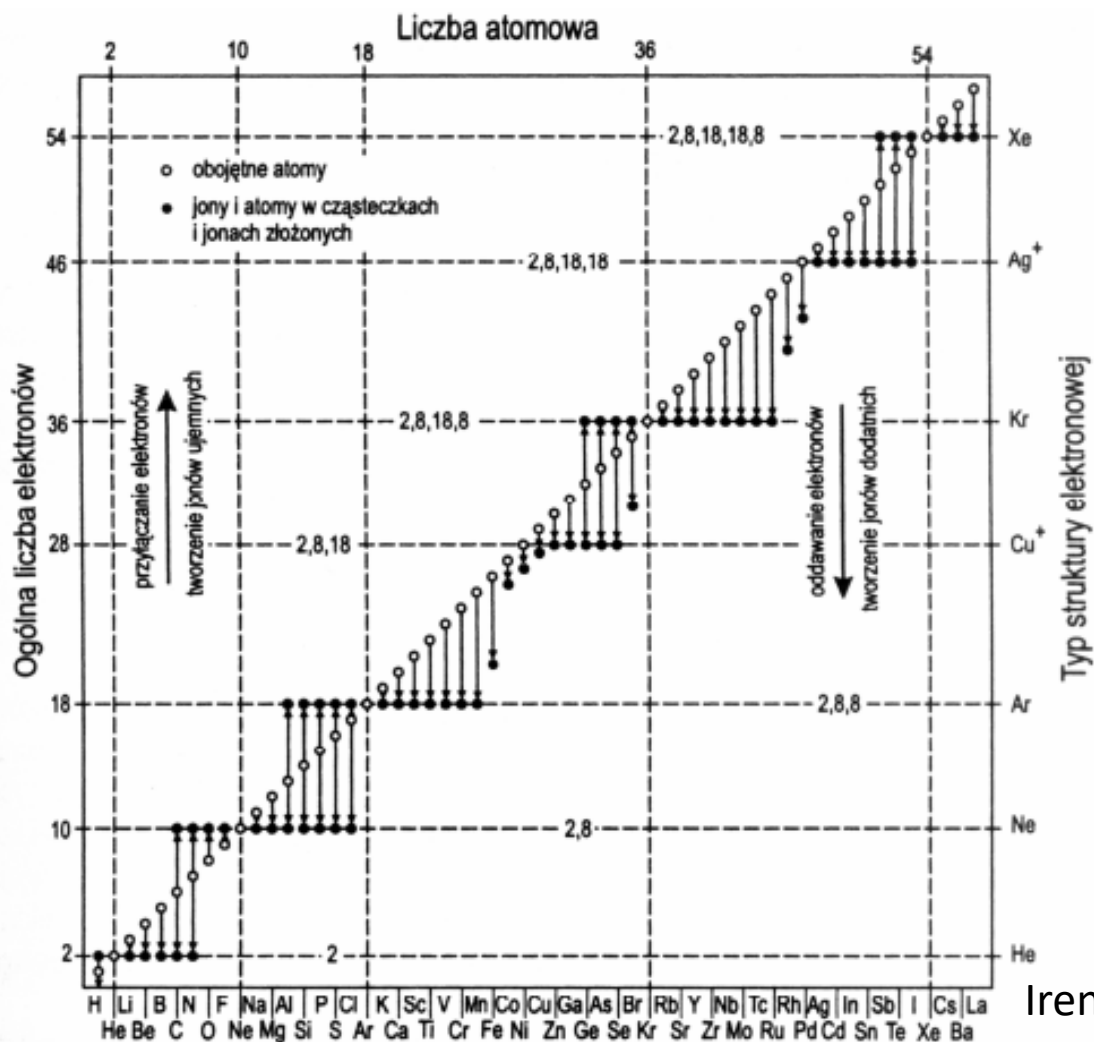
## Trwałe konfiguracje:

$S^2$  (He)  
 $S^2p^6$  (Ne, Ar)  
 $S^2p^6d^{10}$  (Kr, Xe, Ag<sup>+</sup>, Cu<sup>+</sup>)

Cu:  $1s^22s^22p^63s^23p^64s^23d^9$   
Cu:  $1s^22s^22p^63s^23p^63d^{10}4s^1$   
Cu<sup>+</sup>  $1s^22s^22p^63s^23p^63d^{10}$

# Okresowość właściwości pierwiastków chemicznych

## Wartościowość



**Wartościowość:** jest to liczba oddawanych lub przyjmowanych elektronów w procesie tworzenia wiązania chemicznego.

- wartościowość dodatnia: elektrony są oddawane, powstają kationy
- wartościowość ujemna: elektrony są przyjmowane, powstają aniony

# Okresowość właściwości pierwiastków chemicznych

## Rozmiary atomów i jonów

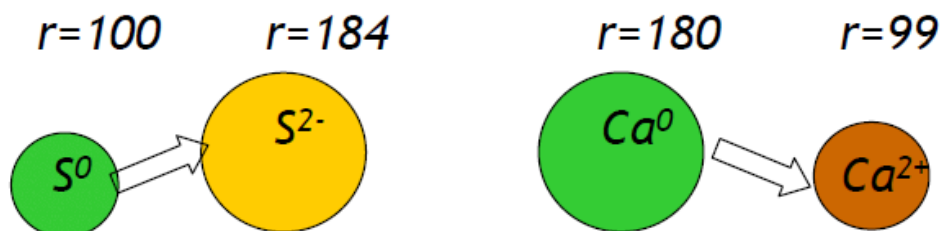
Wielkość atomu lub jonu określana jest przez promień zewnętrznej powłoki elektronowej.

- **W obrębie okresu** - promienie atomów **zmniejszają się** ze wzrostem liczby atomowej. Wiąże się to ze wzrostem liczby protonów w jądrze tzn. z silniejszym przyciąganiem elektronów przez jądro.
- **W obrębie grup** - promienie atomów **wzrastają** wraz ze wzrostem liczb atomowych. Wiąże się to ze wzrostem liczby powłok elektronowych.



Promienie atomów pierwiastków II i III okresu

**Promień jonu:** - ujemnego: jest większy od promienia atomu macierzystego  
- dodatniego: jest znacznie mniejszy od promienia atomu.



Porównanie promieni wybranych atomów i jonów (w pm)

# Rozmiary atomów i jonów

Trends in Atomic Radius (Å) [show rule](#)

1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A
H 0.37							He 0.5
Li 1.52	Be 1.11	B 0.88	C 0.77	N 0.70	O 0.66	F 0.64	Ne 0.70
Na 1.86	Mg 1.60	Al 1.43	Si 1.17	P 1.10	S 1.04	Cl 0.99	Ar 0.94
K 2.31	Ca 1.97	Ga 1.22	Ge 1.22	As 1.21	Se 1.17	Br 1.14	Kr 1.09
Rb 2.44	Sr 2.15	In 1.62	Sn 1.40	Sb 1.41	Te 1.37	I 1.33	Xe 1.30
Cs 2.62	Ba 2.17	Tl 1.71	Pb 1.75	Bi 1.46	Po 1.5	At 1.4	Rn 1.4

# Okresowość właściwości pierwiastków chemicznych

---

## Energia jonizacji

**Energia jonizacji** - jest to energia potrzebna do oderwania elektronu najłabiej związanego z atomem i przeniesienia go poza sferę oddziaływania atomu. Oderwanie kolejnych elektronów wymaga większej energii.

$A + \text{energia} \Rightarrow A^+ + \text{elektron}$  - pierwsza energia jonizacji

$A^{++} + \text{energia} \Rightarrow A^{2+} + \text{elektron}$  - druga energia jonizacji

Energia jonizacji zależy od:

- wielkości atomu (odległości powłoki walencyjnej od jądra)
- ładunku jądra (siły przyciągającej elektrony walencyjne)
- skuteczności ekranowania ładunku jądra przez pozostałe elektrony
- budowy powłoki walencyjnej (konfiguracja i liczba elektronów)

**W obrębie grupy** - energia jonizacji **maleje** ze wzrostem liczby atomowej  
przyczyny: a)  $\uparrow$  c)  $\uparrow$

**W obrębie okresu** - energia jonizacji **rośnie** ze wzrostem liczby atomowej  
przyczyny: b)  $\uparrow$  d) zbliża się do trwałej konfiguracji

Największą energię jonizacji mają gazy szlachetne

# Okresowość właściwości pierwiastków chemicznych

---

## Powinowactwo elektronowe

**Powinowactwo elektronowe** (powinowactwo atomu do elektronu) jest to energia potrzebna do oderwania elektronu od ujemnego jonu.

$A^- + \text{energia} \Rightarrow A + \text{elektron}$  - pierwsze powinowactwo elektronowe;  
może być dodatnie lub ujemne

$A^{2-} + \text{energia} \Rightarrow A^- + \text{elektron}$  - drugie powinowactwo elektronowe;  
jest zawsze ujemne

Dodatnie powinowactwo elektronowe - energia jest dostarczana  
Ujemne powinowactwo elektronowe - energia jest uwalniana

**W obrębie grupy** - powinowactwo elektron. **maleje** ze wzrostem l. atomowej

**W obrębie okresu** - powinowactwo elektron. **rośnie** ze wzrostem l. atomowej

Największe powinowactwo wykazują początkowe pierwiastki 17 grupy (F, Cl).

Wszystkie gazy szlachetne mają ujemne powinowactwo elektronowe.

Ujemna energia oznacza, że układ  $A^-$  jest niestabilny (oddaje elektron z wydzielaniem się energii).

*(Przyczyny zmian powinowactwa elektronowego należy rozpatrywać analogicznie jak w przypadku zmian energii jonizacji).*

# Okresowość właściwości pierwiastków chemicznych

---

## Elektroujemność

- **Elektroujemność** jest miarą skłonności atomu do przyciągania elektronów podczas tworzenia wiązania chemicznego.
- **Pierwiastki elektroujemne** - w reakcjach chemicznych przyłączają elektrony lub tworzą jony ujemne
- **Pierwiastki elektrododatnie** - w reakcjach chemicznych oddają elektrony lub tworzą jony dodatnie

Elektroujemność jest proporcjonalna do sumy powinowactwa elektronowego i energii jonizacji (średnia wartość wg **skali Mullikena**)

Według **skali Paulinga**: elektroujemność zmienia się w zakresie  $0,7 \div 4$ ,  
wyrażana jest w jednostkach bezwymiarowych

F: 4 (najbardziej elektroujemny)

Cs: 0,7 (najbardziej elektrododatni)

Pierwiastki z bloku s i p - elektroujemność w grupach ↓ w okresach ↑

Pierwiastki z bloku d - zależność ta nie zawsze jest spełniona

Znajomość elektroujemności jest potrzebna do oceny charakteru wiązań chemicznych

# Okresowość właściwości pierwiastków chemicznych

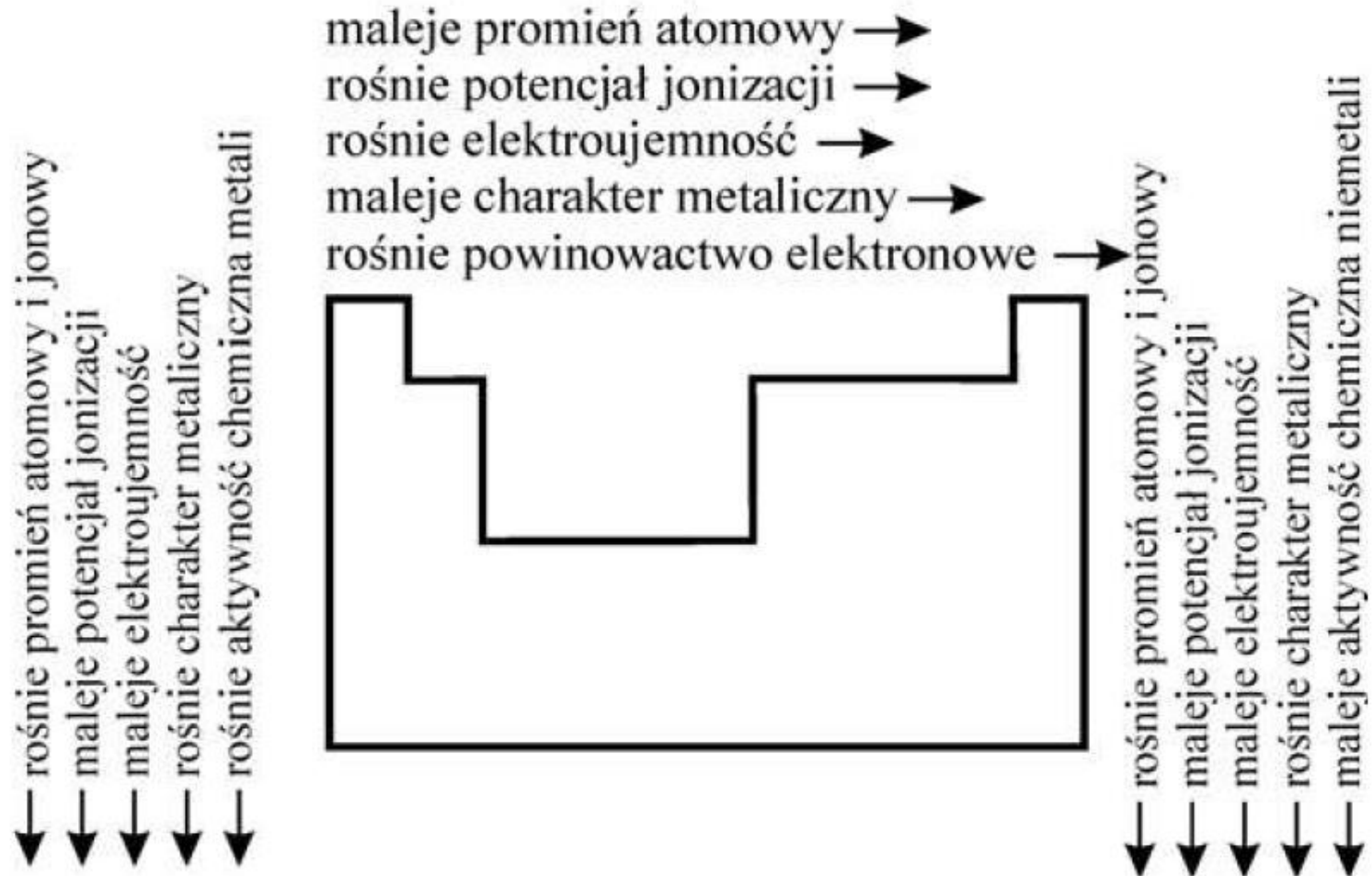
## Elektroujemność

1	1																		16
1	1																		2
	H																		He
	2,1																		
2	3	4																	
	Li	Be																	
	1,0	1,5																	
3	11	12																	
	Na	Mg																	
	0,9	1,2																	
4	19	20	21																
	K	Ca	Sc																
	0,8	1,0	1,3																
5	37	38	39																
	Rb	Sr	Y																
	0,8	1,0	1,2																
6	55	56	57																
	Cs	Ba	La	*															
	0,7	0,9	1,1																
7	87	88	89																
	Fr	Ra	Ac	**															
	0,7	0,9	1,1																
					5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36				
	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
	1,5	1,6	1,6	1,6	1,8	1,8	1,8	1,9	1,6	1,6	1,8	2,0	2,4	2,8					
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54				
	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
	1,4	1,6	1,8	1,9	2,2	2,2	2,2	1,9	1,7	1,7	1,8	1,9	2,1	2,5					
	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86				
	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				
	1,3	1,5	1,7	1,9	2,2	2,2	2,2	2,4	1,9	1,8	1,9	1,9	2,0	2,2					

*Układ okresowy zawierający liczbowe wartości elektroujemności w skali Paulinga*

# Okresowość właściwości pierwiastków chemicznych

## Zmiany właściwości pierwiastków na tle układu okresowego



Literatura:

L. Jones, P. Atkins – Chemia ogólna. Cząsteczki, materia, reakcje.

Lech Pajdowski – Chemia ogólna

Adam Bielański – Podstawy chemii ogólnej i nieorganicznej

Irena Zubel – [http://www.w12.pwr.wroc.pl/zpp/files/W\\_1.W10.pdf](http://www.w12.pwr.wroc.pl/zpp/files/W_1.W10.pdf)

## Stechiometria

- dział chemii zajmujący się stosunkami ilościowymi przemian związków chemicznych zachodzących w czasie reakcji chemicznych.

### Obliczenia stechiometryczne

- obliczenia składu procentowego związku chemicznego,
- obliczenia niezbędnej ilości substratów do przeprowadzenia reakcji chemicznej,
- obliczenia ilości produktów otrzymanych w wyniku reakcji,
- obliczenia wydajności reakcji chemicznej.

Do obliczeń stechiometrycznych niezbędne są:

- znajomość wzorów chemicznych,
- umiejętność uzgadniania reakcji chemicznych,
- znajomość chemicznych jednostek masy,
- znajomość podstawowych praw chemicznych i fizycznych

#### **Obliczenia stechiometryczne:**

1. Prawo zachowania masy: 2g wodoru reaguje z 16g tlenu i powstaje 18g wody – sumy mas substratów i produktów są sobie równe.
2. Prawo stosunków stałych: stosunek wodoru do tlenu w wodzie jest jak 2:1. (2/1 g/mol  $H_2$  : 16/16 g/mol  $O_2$ )
3. Prawo stosunków wielokrotnych: stosunek wodoru do tlenu w  $H_2O$  – 2:1, stosunek wodoru do tlenu w  $H_2O_2$  – 2:2

## Klasyczne prawa chemiczne (wynikające z teorii atomistycznej):

1. **Prawo zachowania masy** – dla wszystkich reakcji chemicznych, suma mas substancji wyjściowych (substratów), równa się sumie mas produktów (*Lavoisier 1785*).
2. **Prawo stosunków stałych** – stosunek ilości wagowych pierwiastków tworzących dany związek jest stały (*Proust, 1779*).
3. **Prawo stosunków wielokrotnych** – jeżeli dwa pierwiastki tworzą ze sobą dwa lub więcej związków, to ilości wagowe jednego z nich przypadające na stałą ilość wagową drugiego, mają się do siebie jak proste liczby naturalne (*Dalton, 1808*).  
Np.  $N_2O$ ,  $NO$ ,  $N_2O_3$ ,  $NO_2$ ,  $N_2O_5$  - na 2N azotu przypada 1, 2, 3, 4, 5 tlenu
4. **Prawo stosunków objętościowych Gay-Lussaca** – objętości substancji gazowych (mierzone w tej samej temperaturze i pod tym samym ciśnieniem), biorących udział w danej reakcji chemicznej, mają się do siebie jak proste liczby naturalne (*1805*).
5. **Hipoteza Avogadro** – jednakowe objętości dwóch różnych gazów, znajdujących się w tej samej temperaturze i pod tym samym ciśnieniem, zawierają jednakową liczbę cząsteczek (*1811*).

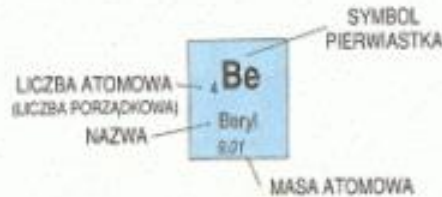
### Orbital Notation

		Orbital Notation								Simplified Notation	
		<i>3d</i>					<i>4s</i>	<i>4p</i>			
19	K	[Ar]					↑				[Ar] 4 <i>s</i> <sup>1</sup>
20	Ca	[Ar]					↑↓				[Ar] 4 <i>s</i> <sup>2</sup>
21	Sc	[Ar]	↑				↑↓				[Ar] 3 <i>d</i> <sup>1</sup> 4 <i>s</i> <sup>2</sup>
22	Ti	[Ar]	↑	↑			↑↓				[Ar] 3 <i>d</i> <sup>2</sup> 4 <i>s</i> <sup>2</sup>
23	V	[Ar]	↑	↑	↑		↑↓				[Ar] 3 <i>d</i> <sup>3</sup> 4 <i>s</i> <sup>2</sup>
→	24	Cr	↑	↑	↑	↑	↑				[Ar] 3 <i>d</i> <sup>5</sup> 4 <i>s</i> <sup>1</sup>
	25	Mn	↑	↑	↑	↑	↑↓				[Ar] 3 <i>d</i> <sup>5</sup> 4 <i>s</i> <sup>2</sup>
	26	Fe	↑↓	↑	↑	↑	↑↓				[Ar] 3 <i>d</i> <sup>6</sup> 4 <i>s</i> <sup>2</sup>
	27	Co	↑↓	↑↓	↑	↑	↑↓				[Ar] 3 <i>d</i> <sup>7</sup> 4 <i>s</i> <sup>2</sup>
	28	Ni	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑↓				[Ar] 3 <i>d</i> <sup>8</sup> 4 <i>s</i> <sup>2</sup>
→	29	Cu	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑				[Ar] 3 <i>d</i> <sup>10</sup> 4 <i>s</i> <sup>1</sup>
	30	Zn	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓				[Ar] 3 <i>d</i> <sup>10</sup> 4 <i>s</i> <sup>2</sup>
	31	Ga	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑			[Ar] 3 <i>d</i> <sup>10</sup> 4 <i>s</i> <sup>2</sup> 4 <i>p</i> <sup>1</sup>
	32	Ge	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑		[Ar] 3 <i>d</i> <sup>10</sup> 4 <i>s</i> <sup>2</sup> 4 <i>p</i> <sup>2</sup>
	33	As	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑	↑	[Ar] 3 <i>d</i> <sup>10</sup> 4 <i>s</i> <sup>2</sup> 4 <i>p</i> <sup>3</sup>
	34	Se	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑	[Ar] 3 <i>d</i> <sup>10</sup> 4 <i>s</i> <sup>2</sup> 4 <i>p</i> <sup>4</sup>
	35	Br	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑	[Ar] 3 <i>d</i> <sup>10</sup> 4 <i>s</i> <sup>2</sup> 4 <i>p</i> <sup>5</sup>
	36	Kr	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	[Ar] 3 <i>d</i> <sup>10</sup> 4 <i>s</i> <sup>2</sup> 4 <i>p</i> <sup>6</sup>



		MAIN-GROUP ELEMENTS										MAIN-GROUP ELEMENTS							
		1A (1)												3A (13) 4A (14) 5A (15) 6A (16) 7A (17)					8A (18)
1		1 <b>H</b> 1.008											2 <b>He</b> 4.003						
2		3 <b>Li</b> 6.941	4 <b>Be</b> 9.012											5 <b>B</b> 10.81	6 <b>C</b> 12.01	7 <b>N</b> 14.01	8 <b>O</b> 16.00	9 <b>F</b> 19.00	10 <b>Ne</b> 20.18
Period	3	11 <b>Na</b> 22.99	12 <b>Mg</b> 24.31	TRANSITION ELEMENTS										13 <b>Al</b> 26.98	14 <b>Si</b> 28.09	15 <b>P</b> 30.97	16 <b>S</b> 32.07	17 <b>Cl</b> 35.45	18 <b>Ar</b> 39.95
	4	19 <b>K</b> 39.10	20 <b>Ca</b> 40.08	21 <b>Sc</b> 44.96	22 <b>Ti</b> 47.88	23 <b>V</b> 50.94	24 <b>Cr</b> 52.00	25 <b>Mn</b> 54.94	26 <b>Fe</b> 55.85	27 <b>Co</b> 58.93	28 <b>Ni</b> 58.69	29 <b>Cu</b> 63.55	30 <b>Zn</b> 65.39	31 <b>Ga</b> 69.72	32 <b>Ge</b> 72.61	33 <b>As</b> 74.92	34 <b>Se</b> 78.96	35 <b>Br</b> 79.90	36 <b>Kr</b> 83.80
	5	37 <b>Rb</b> 85.47	38 <b>Sr</b> 87.62	39 <b>Y</b> 88.91	40 <b>Zr</b> 91.22	41 <b>Nb</b> 92.91	42 <b>Mo</b> 95.94	43 <b>Tc</b> (98)	44 <b>Ru</b> 101.1	45 <b>Rh</b> 102.9	46 <b>Pd</b> 106.4	47 <b>Ag</b> 107.9	48 <b>Cd</b> 112.4	49 <b>In</b> 114.8	50 <b>Sn</b> 118.7	51 <b>Sb</b> 121.8	52 <b>Te</b> 127.6	53 <b>I</b> 126.9	54 <b>Xe</b> 131.3
	6	55 <b>Cs</b> 132.9	56 <b>Ba</b> 137.3	57 <b>La</b> 138.9	72 <b>Hf</b> 178.5	73 <b>Ta</b> 180.9	74 <b>W</b> 183.9	75 <b>Re</b> 186.2	76 <b>Os</b> 190.2	77 <b>Ir</b> 192.2	78 <b>Pt</b> 195.1	79 <b>Au</b> 197.0	80 <b>Hg</b> 200.6	81 <b>Tl</b> 204.4	82 <b>Pb</b> 207.2	83 <b>Bi</b> 209.0	84 <b>Po</b> (209)	85 <b>At</b> (210)	86 <b>Rn</b> (222)
	7	87 <b>Fr</b> (223)	88 <b>Ra</b> (226)	89 <b>Ac</b> (227)	104 <b>Rf</b> (261)	105 <b>Db</b> (262)	106 <b>Sg</b> (266)	107 <b>Bh</b> (262)	108 <b>Hs</b> (265)	109 <b>Mt</b> (266)	110 <b>(269)</b>	111 <b>(272)</b>	112 <b>(277)</b>			114 <b>(285)</b>			
			INNER TRANSITION ELEMENTS																
	6	Lanthanides	58 <b>Ce</b> 140.1	59 <b>Pr</b> 140.9	60 <b>Nd</b> 144.2	61 <b>Pm</b> (145)	62 <b>Sm</b> 150.4	63 <b>Eu</b> 152.0	64 <b>Gd</b> 157.3	65 <b>Tb</b> 158.9	66 <b>Dy</b> 162.5	67 <b>Ho</b> 164.9	68 <b>Er</b> 167.3	69 <b>Tm</b> 168.9	70 <b>Yb</b> 173.0	71 <b>Lu</b> 175.0			
7	Actinides	90 <b>Th</b> 232.0	91 <b>Pa</b> (231)	92 <b>U</b> 238.0	93 <b>Np</b> (237)	94 <b>Pu</b> (242)	95 <b>Am</b> (243)	96 <b>Cm</b> (247)	97 <b>Bk</b> (247)	98 <b>Cf</b> (251)	99 <b>Es</b> (252)	100 <b>Fm</b> (257)	101 <b>Md</b> (258)	102 <b>No</b> (259)	103 <b>Lr</b> (260)				

# Układ okresowy pierwiastków



1																	18		
1	<b>H</b> Wodór 1,008																	<b>He</b> Hel 4,003	
2	<b>Li</b> Lit 6,94	<b>Be</b> Beryl 9,01																	<b>Ne</b> Neon 20,18
3	<b>Na</b> Sód 22,99	<b>Mg</b> Magnez 24,30																	<b>Ar</b> Argon 39,95
4	<b>K</b> Potas 39,10	<b>Ca</b> Wapń 40,08	<b>Sc</b> Skand 44,96	<b>Ti</b> Tytan 47,88	<b>V</b> Wanad 50,94	<b>Cr</b> Chrom 51,99	<b>Mn</b> Mangan 54,94	<b>Fe</b> Żelazo 55,85	<b>Co</b> Kobalt 58,93	<b>Ni</b> Nikiel 58,69	<b>Cu</b> Miedź 63,55	<b>Zn</b> Cynk 65,38	<b>Ga</b> Gal 69,72	<b>Ge</b> German 72,64	<b>As</b> Arsen 74,92	<b>Se</b> Selen 78,96	<b>Br</b> Brom 79,90	<b>Kr</b> Krypton 83,80	
5	<b>Rb</b> Rubid 85,47	<b>Sr</b> Stront 87,62	<b>Y</b> Itr 88,91	<b>Zr</b> Cyrkon 91,22	<b>Nb</b> Niob 92,91	<b>Mo</b> Molibden 95,94	<b>Tc</b> Technet 98,91	<b>Ru</b> Ruten 101,07	<b>Rh</b> Rod 101,07	<b>Pd</b> Pallad 106,42	<b>Ag</b> Srebro 107,87	<b>Cd</b> Kadm 112,41	<b>In</b> Ind 114,82	<b>Sn</b> Cyna 118,71	<b>Sb</b> Antymon 121,75	<b>Te</b> Tefur 127,60	<b>I</b> Jod 126,90	<b>Xe</b> Ksenon 131,29	
6	<b>Cs</b> Cezj 132,91	<b>Ba</b> Bar 137,33	<b>La</b> Lantan 138,91	<b>Hf</b> Hafn 178,49	<b>Ta</b> Tantal 180,95	<b>W</b> Wolfram 183,85	<b>Re</b> Ren 186,21	<b>Os</b> Osm 190,2	<b>Ir</b> Iryd 192,22	<b>Pt</b> Platyna 195,08	<b>Au</b> Złoto 196,97	<b>Hg</b> Rtęć 200,59	<b>Tl</b> Tal 204,38	<b>Pb</b> Ołów 207,2	<b>Bi</b> Bismut 208,98	<b>Po</b> Polon 209	<b>At</b> Astat 209	<b>Rn</b> Radon 222,02	
7	<b>Fr</b> Francj 223,02	<b>Ra</b> Rad 226,03	<b>Ac</b> Aktyn 227,03	<b>Rf</b> Rutherfordj 261,1	<b>Db</b> Dubnij 262,1	<b>Sg</b> Seaborgj 263,1	<b>Bh</b> Bohrj 264,1	<b>Hs</b> Hasj 265,1	<b>Mt</b> Meitnerj 268,1	<b>Uun</b> Ununilium 288	<b>Uuu</b> Ununium 289	<b>Uub</b> Ununbium 290	113	<b>Uuq</b> Ununquadium 291	115	<b>Uuh</b> Ununhexium 292	117	<b>Uuo</b> Ununoctium 294	

\* Symbol chemiczny i angielska nazwa pierwiastka zostały zatwierdzone przez IUPAC w 1997 r.  
 Podano proponowaną nazwę polską.

- METALE
- NIEMETALE
- NIEMETALE - GAZY SZLACHTNE
- PÓŁMETALE

## Lantanowce

58 <b>Ce</b> Cer 140,12	59 <b>Pr</b> Praseodym 140,91	60 <b>Nd</b> Neodym 144,24	61 <b>Pm</b> Promet 144,91	62 <b>Sm</b> Samar 150,36	63 <b>Eu</b> Europ 151,96	64 <b>Gd</b> Gadolin 157,25	65 <b>Tb</b> Terb 158,93	66 <b>Dy</b> Dysproz 162,50	67 <b>Ho</b> Holm 164,93	68 <b>Er</b> Erb 167,26	69 <b>Tm</b> Tul 168,93	70 <b>Yb</b> Iterb 173,04	71 <b>Lu</b> Lutet 174,97
-------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	---------------------------------

## Aktynowce

90 <b>Th</b> Tor 232,04	91 <b>Pa</b> Protaktyn 231,04	92 <b>U</b> Uran 238,03	93 <b>Np</b> Neptun 237,05	94 <b>Pu</b> Pluton 244,06	95 <b>Am</b> Ameryk 243,06	96 <b>Cm</b> Kuri 247,07	97 <b>Bk</b> Berkel 247,07	98 <b>Cf</b> Kaliforn 251,08	99 <b>Es</b> Einstein 252,08	100 <b>Fm</b> Fermj 257,08	101 <b>Md</b> Mendelew 258,1	102 <b>No</b> Nobel 259,10	103 <b>Lr</b> Lorens 260,11
-------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------

# Okresowość właściwości pierwiastków chemicznych

Metale      Nietmetale      Nietmetale - gazy szlachetne      Półmetale

1											13	14	15	16	17	18		
1	H																He	
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub		Uuq				

Lantanowce

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Aktynowce

# Układ okresowy pierwiastków

1,007 1 <b>H</b> Wodór																	4,002 2 <b>He</b> Hel						
6,941 3 <b>Li</b> Lit	9,012 4 <b>Be</b> Beryl																	10,811 5 <b>B</b> Bor	12,011 6 <b>C</b> Węgiel	14,006 7 <b>N</b> Azot	15,999 8 <b>O</b> Tlen	18,998 9 <b>F</b> Fluor	20,179 10 <b>Ne</b> Neon
22,98 11 <b>Na</b> Sód	24,305 12 <b>Mg</b> Magnez																	26,981 13 <b>Al</b> Glin	28,085 14 <b>Si</b> Krzem	30,973 15 <b>P</b> Fosfor	32,066 16 <b>S</b> Siarka	35,452 17 <b>Cl</b> Chlor	39,948 18 <b>Ar</b> Argon
39,09 19 <b>K</b> Potas	40,078 20 <b>Ca</b> Wapń	44,95 21 <b>Sc</b> Skand	47,867 22 <b>Ti</b> Tytan	50,941 23 <b>V</b> Wanad	51,996 24 <b>Cr</b> Chrom	54,938 25 <b>Mn</b> Mangan	55,845 26 <b>Fe</b> Żelazo	58,933 27 <b>Co</b> Kobalt	58,693 28 <b>Ni</b> Nikiel	63,546 29 <b>Cu</b> Miedź	65,39 30 <b>Zn</b> Cynk	69,723 31 <b>Ga</b> Gal	72,61 32 <b>Ge</b> German	74,921 33 <b>As</b> Arsen	78,96 34 <b>Se</b> Selen	79,904 35 <b>Br</b> Brom	83,80 36 <b>Kr</b> Krypton						
85,46 37 <b>Rb</b> Rubid	87,62 38 <b>Sr</b> Stront	88,90 39 <b>Y</b> Itr	91,224 40 <b>Zr</b> Cyrkon	92,906 41 <b>Nb</b> Niob	95,94 42 <b>Mo</b> Molibden	97,905 43 <b>Tc</b> Technet	101,07 44 <b>Ru</b> Ruten	102,90 45 <b>Rh</b> Rod	106,42 46 <b>Pd</b> Pallad	107,86 47 <b>Ag</b> Srebro	112,41 48 <b>Cd</b> Kadm	114,81 49 <b>In</b> Ind	118,71 50 <b>Sn</b> Cyna	121,76 51 <b>Sb</b> Antymon	127,60 52 <b>Te</b> Tellur	126,90 53 <b>I</b> Jod	131,29 54 <b>Xe</b> Ksenon						
132,9 55 <b>Cs</b> Cez	137,327 56 <b>Ba</b> Bar	178,48 72 <b>Hf</b> Hafn	180,94 73 <b>Ta</b> Tantal	183,84 74 <b>W</b> Wolfram	186,20 75 <b>Re</b> Ren	190,23 76 <b>Os</b> Osm	192,21 77 <b>Ir</b> Iryd	195,08 78 <b>Pt</b> Platyna	196,96 79 <b>Au</b> Złoto	200,59 80 <b>Hg</b> Rtęć	204,38 81 <b>Tl</b> Tal	207,2 82 <b>Pb</b> Ołów	208,98 83 <b>Bi</b> Bizmut	208,98 84 <b>Po</b> Polon	209,98 85 <b>At</b> Astat	222,01 86 <b>Rn</b> Radon							
223,0 87 <b>Fr</b> Frans	226,025 88 <b>Ra</b> Rad	261,10 104 <b>Rf</b> Rutherford	263,15 105 <b>Db</b> Dubn	265,12 106 <b>Sg</b> Seaborg	264,1 107 <b>Bh</b> Bohr	269,1 108 <b>Hs</b> Has	268,1 109 <b>Mt</b> Meitner	271,1 110 <b>Uun</b> Ununilium	272,1 111 <b>Uuu</b> Unununium	277,1 112 <b>Uub</b> Ununbium		114 <b>Uuq</b> Ununquadium		116 <b>Uuh</b> Ununhexium		118 <b>Uuo</b> Ununoctium							
		138,905 57 <b>La</b> Lantan	140,11 58 <b>Ce</b> Cer	140,90 59 <b>Pr</b> Prazeodym	144,24 60 <b>Nd</b> Neodym	144,91 61 <b>Pm</b> Promet	150,36 62 <b>Sm</b> Samar	151,96 63 <b>Eu</b> Europ	157,25 64 <b>Gd</b> Gadolin	158,92 65 <b>Tb</b> Terb	162,50 66 <b>Dy</b> Dyspro	164,93 67 <b>Ho</b> Holm	167,26 68 <b>Er</b> Erb	168,93 69 <b>Tm</b> Tul	173,04 70 <b>Yb</b> Iterb	174,96 71 <b>Lu</b> Lutet							
		227,02 89 <b>Ac</b> Aktyn	232,03 90 <b>Th</b> Tor	231,035 91 <b>Pa</b> Protaktyn	238,03 92 <b>U</b> Uran	237,04 93 <b>Np</b> Neptun	244,064 94 <b>Pu</b> Pluton	243,061 95 <b>Am</b> Ameryk	247,07 96 <b>Cm</b> Kür	247,07 97 <b>Bk</b> Berkel	251,08 98 <b>Cf</b> Kaliforn	252,08 99 <b>Es</b> Eistein	257,09 100 <b>Fm</b> Ferm	258,9 101 <b>Md</b> Mendelew	259,10 102 <b>No</b> Nobel	262,11 103 <b>Lr</b> Lorens							